

Antônio Venicius dos Santos

**MÉTODO PARA ALOCAÇÃO DE ÁREAS DE DESCANSO
PARA O TRANSPORTE DE CARGA EM REDES
RODOVIÁRIAS**

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - PPGEC da Universidade Federal de Santa Catarina a obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Amir Mattar Valente

Florianópolis
2016

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Santos, Antônio Venícius dos
Método para alocação de áreas de descanso para o
transporte de carga em redes rodoviárias / Antônio Venícius
dos Santos ; orientador, Amir Mattar Valente -
Florianópolis, SC, 2016.
216 p.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil.

Inclui referências

1. Engenharia Civil. 2. Áreas de Descanso. 3. Segurança
Viária. 4. Alocação. 5. Planejamento de Transportes. I.
Valente, Amir Mattar. II. Universidade Federal de Santa
Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.
III. Título.

Antônio Venicius dos Santos

**MÉTODO PARA ALOCAÇÃO DE ÁREAS DE DESCANSO
PARA O TRANSPORTE DE CARGA EM REDES
RODOVIÁRIAS**

Esta Tese foi julgada adequada para a obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - PPGEC da Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC.

Florianópolis, 28 de março de 2016.

Prof. Glicério Trichês, Dr.
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Prof. Amir Mattar Valente, Dr.
Orientador

Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

Prof. José Leomar Fernandes Junior, Dr.
Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo EESC-USP
(videoconferência)

Prof. Sérgio Ronaldo Granemann, Dr.
Universidade Federal de Brasília – UnB (videoconferência)

Prof.^a Liseane Padilha Thives, Dr.^a
Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC

Prof. Marcos Aurélio Marques Noronha, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

Prof. Francisco Henrique de Oliveira, Dr.
Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC

Este trabalho é dedicado ao meu querido filho Caio William, à minha amada esposa Raquel, às minhas irmãs Fabiele e Mara e aos meus adorados pais Vildes e Gelci.

AGRADECIMENTOS

À minha esposa Raquel, por me apoiar sempre e acreditar na minha capacidade.

Ao meu filho Caio, o seu nascimento veio no momento que eu mais precisava de motivação e alegria.

À minha mãe Gelci e ao meu Pai Vildes, por acreditarem em mim, sempre.

Às minhas irmãs Mara e Fabiele, por me apoiarem.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Amir Mattar Valente, pela amizade, pelo incentivo, pelo apoio nessa jornada e pelas suas valiosas contribuições.

Aos colegas do Laboratório de Transportes e Logística (LabTrans) – STIGeo, em especial ao Luiz C. D. Dalmolin e à Paula Ribeiro, pela grande amizade e pelo apoio durante esse período.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para que fosse possível concretizar esse sonho.

“A imaginação é mais importante que a ciência, porque a ciência é limitada, ao passo que a imaginação abrange o mundo inteiro”.

(Albert Einstein)

RESUMO

No mundo, ocorrem cerca de 1,5 milhões de mortes no trânsito anualmente. No Brasil, ocorrem mais de 40 mil mortes no trânsito, e muitas delas são resultados da fadiga dos motoristas. No Brasil, esse assunto é regulamentado pela Lei n. 13.103/2015. Todavia, ainda não se sabe a localização dos trechos rodoviários que deveriam receber as implantações de áreas de descanso, inviabilizando, assim, a fiscalização. Diante desse fato, foi desenvolvido o método AAD, com a meta de definir os passos necessários para a alocação das áreas de descanso em redes rodoviárias. O método é composto por 17 etapas, as quais definem os procedimentos necessários para a elaboração da área de estudo, das zonas de tráfego, dos centroides e da rede rodoviária. Durante a execução do método, é possível considerar a existência prévia de áreas de descanso, o que influencia diretamente no resultado final. Outro aspecto relevante do AAD é que não é necessária a coleta de dados em campo, diminuindo os custos de investimento. Por meio da aplicação do método, é possível garantir a efetividade da localização das áreas de descanso a serem implantadas, pois possibilita que todas as viagens fiquem aderentes à legislação que rege o assunto. São definidos quais os procedimentos necessários para se desenvolver o *ranking* dos trechos alocados a partir da matriz unitária, sendo tal *ranking* dado de entrada para o processo de otimização da alocação das áreas. O método AAD realiza a minimização por meio de sua heurística; para tanto, foi construído um algoritmo de otimização que encontra um conjunto de trechos rodoviários que precisam de áreas de descanso para que a legislação que rege o assunto possa ser cumprida. Além disso, o método orienta o processo de priorização dos trechos identificados para que ocorra a implantação de forma eficiente. Assim, após a realização da última etapa do método, é possível obter, no estudo, os trechos a serem implantados primeiramente. Por fim, é demonstrada a aplicação do método por meio de um exemplo numérico. Portanto, o método AAD traz contribuições satisfatórias aos estudos relativos à implantação das áreas de descanso, pois dá suporte para que o governo possa iniciar a fiscalização da jornada de trabalho dos motoristas profissionais e, conseqüentemente, colaborar para a diminuição dos acidentes envolvendo caminhões.

Palavras-chave: Áreas de Descanso. Segurança Viária. Alocação. Planejamento de Transportes. Rede Rodoviária.

ABSTRACT

Worldwide, there are about 1.5 million traffic fatalities each year. In Brazil, there are over 40,000 traffic deaths. Many of these deaths are the result of driver fatigue. In Brazil, this issue is regulated by Law no. 13,103 / 2015. However, it is not known the location of the road stretches that should receive deployments of rest areas, thus impeding inspection. Given this fact, the AAD method was developed with the goal of defining the steps required for the allocation of the rest areas in road networks. The AAD method, consists of 17 steps, which define the procedures for drafting the study area, the traffic areas, centroids, the road network. During the execution of the method can be considered prior existence of rest areas, which directly influence the final result. Another interesting aspect of the method is that it is not necessary to collect field data, thus reducing investment costs. By applying the method can ensure the effectiveness of the location of the rest areas to be implemented, because it allows all travel remain adherent to laws governing the matter. It defined the procedures needed to develop the ranking of the allocated road links from the unitary matrix. This rank is input to the optimization process of allocating areas. The AAD method performs minimization through its heuristic. Therefore it built an optimization algorithm that finds a set of road links that need rest areas so that the legislation governing the matter can be fulfilled. Furthermore, the AAD method orients the process of prioritization of the identified segments for deployment to occur efficiently. Thus, after completion of the last step of the method can be obtained in the study the road links to be deployed first. Finally, application of the method is shown through a numerical example. Therefore, this AAD method is brings satisfactory contributions to studies on the implementation of the rest areas, it contributes to government start monitoring the working hours of professional drivers and consequently contribute to the reduction of accidents involving trucks.

Keywords: Rest areas. Road safety. Allocation. Transport planning. Road network.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Rodovias federais sob jurisdição do DNIT com Pontos de Parada e Descanso (PPDs)	42
Figura 2 - Rodovias federais concedidas com PPDs.....	43
Figura 3 - Centroides das zonas de tráfego	52
Figura 4 - Rodovias federais do Brasil.....	54
Figura 5 - Espaço contínuo, com centroides e distâncias euclidianas	54
Figura 6 - Grafo não direcionado (nós e arestas)	55
Figura 7 - Grafo direcionado (nós e arcos)	55
Figura 8 - Tipos de viagens.....	56
Figura 9 - Área de estudo.....	58
Figura 10 – Área de estudo (exemplo).....	59
Figura 11 - Estrutura clássica de um plano de transportes	60
Figura 12 - Esquema de pesquisa no cordão externo	61
Figura 13 - Matriz OD <i>versus</i> viagens geradas	67
Figura 14 - Matriz OD atual	67
Figura 15 - Matriz OD futura.....	68
Figura 16 - Matriz OD	74
Figura 17 - Rede viária	80
Figura 18 - Matriz OD para cálculo do fluxo nos arcos.....	81
Figura 19 - Algoritmo de Dijkstra sendo utilizado no <i>software</i> DijkstraVis.....	85
Figura 20 - Tela do TransCAD	87
Figura 21 - Resultado encontrado pelo algoritmo do “Menor Caminho”	88
Figura 22 - Exemplo de caminho mais rápido para fazer uma série de paradas em uma rede de transportes de São Francisco, CA	89
Figura 23 - Escalas de trabalho.....	93
Figura 24 - Metodologia utilizada pelo Ministério dos Transportes para localizar PPD existentes	93
Figura 25 - Formulário eletrônico para requerer reconhecimento como PPD....	94
Figura 26 - Formulário de coleta de dados de ocorrência de acidente de trânsito da PRF	106
Figura 27 - Cadastro de acidente no sistema BRBrasil	107
Figura 28 - Organograma das instituições relacionadas ao setor de transportes no Brasil.....	108
Figura 29 - Principais modificações feitas na Lei n. 12.619 que deram origem à Lei n. 13.103	112
Figura 30 - Área de descanso.....	116
Figura 31 - Divisão de estacionamento para diversos tipos de veículos	118
Figura 32 - Vagas em estacionamento na área de descanso.....	119
Figura 33 - Local de conveniências	119
Figura 34 - Sinalização alertando sobre área de descanso na Austrália	122
Figura 35 - Área de descanso para caminhões na Austrália.....	123
Figura 36 - Aviso sobre área de descanso a 300 m - próxima área e estacionamento	126

Figura 37 - Estacionamento de veículos de passeio em área de descanso	126
Figura 38 - Banheiros em área de descanso na França	127
Figura 39 - Etapas do método	131
Figura 40 - Elementos básicos da área de estudo	133
Figura 41 - Possíveis problemas topológicos na rede rodoviária.....	142
Figura 42 - Representação das ZIs e das ZEs	145
Figura 43 - Movimentos entre as zonas de tráfego	145
Figura 44 - Rosas dos ventos – Norte, Sul, Leste e Oeste	146
Figura 45 - Rosa dos ventos - Norte, Sul, Oeste, Leste, Nordeste, Noroeste, Sudeste e Sudoeste	147
Figura 46 - Camada de Municípios	148
Figura 47 - Camada de Cidades.....	150
Figura 48 - Camada de Municípios - Cidades do Rio Grande do Sul	150
Figura 49 - Município e cidade de Altamira, no Pará.....	151
Figura 50 - Exemplo de seleção da rede rodoviária.....	153
Figura 51 - Exemplo de trecho rodoviário com saída e entrada sequenciais na área de estudo	154
Figura 52 - Rodovias Federais do estado do Paraná	155
Figura 53 - Exemplo de conexão entre o município e a cidade de Apucarana, no Paraná, com a rede rodoviária	156
Figura 54 - Trecho rodoviário com segmentação municipal	158
Figura 55 - Camada de postos de combustíveis sobreposta à área de estudo ..	161
Figura 56 - Postos da Polícia Rodovia Federal – Santa Catarina e Paraná	162
Figura 57 - Posto da PRF com pátio de retenção em Palhoça – Santa Catarina	163
Figura 58 - Exemplo de segmentação da BR101.....	164
Figura 59 - Segmentação em rodovias de pista duplicada	165
Figura 60 - Segmentação em rodovias de pista simples	165
Figura 61 - Representação de um grafo	166
Figura 62 - Representação dos elementos de uma rede	167
Figura 63 - Limiar de conexão.....	167
Figura 64 - Modelo de representação de uma matriz.....	169
Figura 65 - Matriz unitária das zonas de tráfego	169
Figura 66 - Impedância no <i>link</i>	171
Figura 67 - Exemplo de grafo valorado	172
Figura 68 - Exemplo de caminho mínimo entre z_1 e z_2	173
Figura 69 - Árvore de caminhos mínimos	173
Figura 70 - Lista dos arcos de cada caminho mínimo.....	174
Figura 71 - Somatório de cada arco dos tempos de viagem por par OD.....	174
Figura 72 - Matriz de tempos de viagens.....	175
Figura 73 - Classificação dos pares OD em viagem curta ou longa	176
Figura 74 - Matriz de Tempo de Viagem filtrada	176
Figura 75 - Matriz unitária original	177
Figura 76 - Matriz Unitária Filtrada	177
Figura 77 - Alocação da matriz unitária filtrada.....	178

Figura 78 - Lista de fluxo nos arcos e a lista de pares OD por arco.....	179
Figura 79 - Lista de arcos ordenada pelo fluxo – decrescente	180
Figura 80 - Fluxo total e acidentes de trânsito	181
Figura 81 - Fluxo total e acidentes de trânsito ordenado	181
Figura 82 - Fluxo total, acidentes e volume de tráfego	182
Figura 83 - Resultado final do <i>ranking</i>	182
Figura 84 - Fluxograma do algoritmo de otimização	183
Figura 85 - Trecho identificado com necessidade de área de descanso	185
Figura 86 - Identificação dos trechos que necessitam de áreas de descanso	187
Figura 87 - Volume de tráfego dos arcos identificados	188
Figura 88 - Arcos priorizados pelo volume de tráfego.....	188
Figura 89 - Área de estudo.....	190
Figura 90 - Ferramenta Gephi para construção do grafo da área de estudo	193
Figura 91 - Matriz OD Unitária	194
Figura 92 - Caminho mínimo calculado com uso da ferramenta Gephi.....	195
Figura 93 - Matriz de tempo de viagem	195
Figura 94 - Matriz unitária filtrada	197
Figura 95 - Resultado da otimização	200

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Evolução anual de mortos em acidentes de trânsito	39
Gráfico 2 - Crescimento acumulado da frota de automóveis e motocicletas - Brasil (2003-2014).....	100

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Modelos de dados e respectivos exemplos de aplicação.....	86
Quadro 2 - Notações do modelo de Heinitz e Hesse.....	98
Quadro 3 - Serviços das áreas de descanso do Projeto LABEL.....	124
Quadro 4 - Alternativas de cenários para o estudo de implantação de áreas de descanso.....	136

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Taxas de viagens por uso do solo	65
Tabela 2 - Determinação dos caminhos e da impedância	80
Tabela 3 - Transportadores e Frota de Veículos	109
Tabela 4 - Transportadores - Tipo de Veículo	110
Tabela 5 - Áreas de descanso em Michigan: números de vagas de estacionamento	120
Tabela 6 - Lista de impedâncias por arco	191
Tabela 7 - Classificação da viagem	196
Tabela 8 - Alocação da matriz unitária filtrada.....	197
Tabela 9 - Fluxo alocado nos arcos.....	198
Tabela 10 - <i>Ranking</i> dos trechos.....	198
Tabela 11 - Trechos identificados para a implantação de áreas de descanso ...	199
Tabela 12 - Resultado para priorização.....	201

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANTAQ – Agência Nacional de Transportes Aquaviários
ANTT – Agência Nacional de Transportes Terrestres
BFM – *Basic Fatigue Management Standard*
BFS – *Breadth First Search*
BID – Banco Interamericano de Desenvolvimento
BO – Boletim de Ocorrência
BPR – *Bureau of Public Road*
CA – Califórnia
CAD – *Computer Aided Design*
CCMTA – Canadian Council of Motor Transport Administrators
CIFAL Centro Internacional de Formação de Atores Locais para América Latina
CLT – Consolidação das Leis Trabalhistas
CNP – Capacidade Necessária dos Pátios
CNT – Confederação Nacional de Transporte
CONCAR – Comissão Nacional de Cartografia
CONTRAN – Conselho Nacional de Trânsito
CTB – Código de Trânsito Brasileiro
D – Demanda
DATASUS – Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde
DENATRAN – Departamento Nacional de Trânsito
DER – Departamento de Estradas de Rodagem
DFS – *Depth First Search*
DMD – Distância Média Percorrida
DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
DPN – Duração de Período Noturno
DPRF – Departamento de Polícia Rodoviária Federal
DST – Doenças Sexualmente Transmissíveis
ETC – Empresa de Transporte Rodoviário de Cargas
EUA – Estados Unidos da América
FHWA – Federal Highway Administration
FMCSA – Federal Motor Carrier Safety Administration
FP – Fator de Pico
GRASS – *Geographic Resources Analysis Support System*
H – Hora
HMMC – Hospital Municipal Miguel Couto
HMSF – Hospital Municipal Salgado Filho
HOS – *Hours of Service*

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ID – Identificador
IIAD – Implantação de Áreas de Descanso
INDE – Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais
INSS – Instituto Nacional de Seguridade Social
Ipea – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
ISO – International Organization for Standardization
JdT – Jornada diária de Trabalho máxima
Km – Quilômetros
LabTrans – Laboratório de Transportes e Logística
LOGIT/GISTRAN – Consórcio LOGIT/GISTRAN
M – Metros
MDIC – Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior
MDOT – Michigan Department of Transportation
MLAD – Método de Localização de Áreas de Descanso
MnDOT – Departamento de Transportes do Estado de Minnesota/EUA
MT – Ministério dos Transportes
MTV – Matriz de Tempo de Viagem
NEA – Netherlands Transport Research and Training
NHTSA – National Highway Traffic Safety Administration
NP – *Intelligent Transportation Systems*
OD – Origem e Destino
OMS – Organização Mundial da Saúde
PDF – *Portable Markup Language*
PIB – Produto Interno Bruto
PIL – Programa de Investimento em Logística
PNIH – Plano Nacional de Integração Hidroviária
PNLP – Plano Nacional de Logística Portuária
PNLT – Plano Nacional de Logística e Transportes
PNSVs – Planos Nacionais de Segurança Viária
PP/RS – Partido Progressista do Rio Grande do Sul
PPD – Ponto de Parada e Descanso
PRE – Polícia Rodoviária Estadual
PRF – Polícia Rodoviária Federal
PTB-SP – Partido Trabalhista Brasileiro de São Paulo
PV – Percentual de Vagas
PVI – Ponto de Intersecção Vertical
RNTR-C – Registro Nacional de Transportes Rodoviários de Cargas
RODS – *Records of Duty Status*
S – Sentido
SAC/PR – Secretaria de Aviação Civil da Presidência da República

SENAT – Serviço Nacional de Aprendizagem do Transporte
SEP/PR – Secretaria de Portos da Presidência da República
SEST – Serviço Social do Transporte
SetPos – Secured European Truck Parking Operational Services
SGV – Sistema Georreferenciado de Informações Viárias
SHP – *Shapefile*
SIG – Sistema de Informação Geográfica
SIGSEP – Sistema de Informação Geográfica da Secretaria de Portos
SIG-T – Sistemas de Informação para transporte
SisLog – Sistema Logístico
SNV – Sistema Nacional de Viação
SPNT – Secretaria de Política Nacional de Transporte
SQL – *Structured Query Language*
SUS – Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde
TAC – Transportador Autônomo de Cargas
TCC – Tempo do Ciclo de Condução
TD – Tempo para Descanso
TDSP – *Truck Driver Scheduling Problem*
TIdp – Tempo Mínimo de Intervalo para Descanso entre as Paradas
TIN – Rede Triangular Irregular
TMC – Tempo Máximo de Direção Contínuo
TPca – Tempo de Prorrogação
TPn – Tempo de Prorrogação Normal
TR – Tempo para Repouso
TransCAD – *Transportation Planning Software*
TRC – Transporte Rodoviário de Cargas
Tri – Tempo de Repouso ininterrupto
TRn – Tempo para Repouso
TSP – Divisão de Transporte do BID
UF – Unidade da Federação
UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina
US/DOT – Department of Transportation of the United States
VDMA – Volume Diário Médio Anual
VDOT – Virginia Department of Transportation
VMD – Volume Médio Diário
ZE – Zona Externa
ZI – Zona Interna
ZT – Zona de Tráfego

LISTA DE SÍMBOLOS

*	Multiplicação
Σ	Soma
\neq	Diferente

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	35
1.1 JUSTIFICATIVA	38
1.2 OBJETIVOS	44
1.2.1 Objetivo Geral	44
1.2.2 Objetivos Específicos	45
1.3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	45
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO	46
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	49
2.1 PLANEJAMENTO DE TRANSPORTES	49
2.1.1 Conceitos básicos	50
2.1.2 Coleta de dados	60
2.1.3 Modelos de geração de viagens	63
2.1.4 Modelos de distribuição de viagens	67
2.1.5 Divisão modal	75
2.1.6 Modelos de alocação de viagens	78
2.2 SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA PARA TRANSPORTES	85
2.2.1 Tipos de ferramentas SIG para transporte	86
2.2.2 Buffering	90
2.3 MÉTODOS EXISTENTES DE CÁLCULO DE DEMANDA POR PARADA DE CAMINHÕES	91
2.3.1 Método de Goel (2012)	92
2.3.2 Método de pesquisa aplicado pelo Ministério dos Transportes	93
2.3.3 Método de Lüttmerding (2009)	95
2.3.4 Modelo do MnDOT/DOT (2008)	95
2.3.5 Modelo da FHWA (2002)	96
2.3.6 Modelo de Heinitz e Hesse (2009)	97
3 SEGURANÇA VIÁRIA E ÁREAS DE DESCANSO	99
3.1 ACIDENTES RODOVIÁRIOS: DADOS E CUSTOS ASSOCIADOS	99

3.1.1 Medidas em Segurança Viária.....	100
3.2 INFLUÊNCIA DAS ÁREAS DE DESCANSO NA SEGURANÇA VIÁRIA.....	103
3.3 FISCALIZAÇÃO E REGULAMENTAÇÃO DO TRANSPORTE RODOVIÁRIO	105
3.3.1 Instituições e suas responsabilidades	108
3.4 LEGISLAÇÃO SOBRE HORAS DE TRABALHO E DESCANSO DE MOTORISTAS PROFISSIONAIS	109
3.4.1 Brasil.....	109
3.4.1 Exterior.....	112
3.5 ÁREAS DE DESCANSO NO BRASIL E NO EXTERIOR ..	116
3.5.1 Brasil.....	116
3.5.2 Exterior.....	117
4 MÉTODO PROPOSTO: MÉTODO DE IDENTIFICAÇÃO DOS TRECHOS RODOVIÁRIOS PARA IMPLANTAÇÃO DE ÁREAS DE DESCANSO (IDAD)	129
4.1 ETAPAS DO MÉTODO.....	130
4.1.1 Etapa 1: Definição da área de estudo.....	132
4.1.2 Etapa 2: Determinação de cenários.....	135
4.1.3 Etapa 3: Coleta de dados e informações	136
4.1.4 Etapa 4: Definição e levantamento dos Parâmetros Legais	139
4.1.5 Etapa 5: Padronização de Dados e Informações	141
4.1.6 Etapa 6: Definição das zonas de tráfego e centroides	143
4.1.7 Etapa 7: Elaboração e modelagem da rede rodoviária.....	152
4.1.8 Etapa 8: Conexão da rede em grafo	165
4.1.9 Etapa 9: Realizar a geração da matriz unitária	168
4.1.10 Etapa 10: Gerar a árvore de caminhos mínimos.....	169
4.1.11 Etapa 11: Elaboração da matriz de tempo de viagem – MTV	174
4.1.12 Etapa 12: Definição e filtragem das viagens longas	175
4.1.13 Etapa 13: Aplicar filtro na matriz unitária	176
4.1.14 Etapa 14: Alocação da matriz unitária filtrada	177
4.1.15 Etapa 15: Construção do <i>ranking</i> dos trechos alocados	179

4.1.16 Etapa 16: Otimização	183
4.1.17 Etapa 17: Priorização dos trechos identificados na otimização para implantação de áreas de descanso	186
5 ESTUDO DE CASO.....	189
5.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA	189
5.1.1 Etapa 1: Definição da área de estudo	190
5.1.2 Etapa 2: Determinação de cenários	190
5.1.3 Etapa 3: Coleta de dados e informações	190
5.1.4 Etapa 4: Definição e levantamento dos Parâmetros Legais.....	191
5.1.5 Etapa 5: Padronização de Dados e Informações	191
5.1.6 Etapa 6: Definição das zonas de tráfego e centroides	192
5.1.7 Etapa 7: Elaboração e modelagem da rede rodoviária.....	192
5.1.8 Etapa 8: Conexão da rede em grafo	192
5.1.9 Etapa 9: Realizar a geração da matriz unitária	194
5.1.10 Etapa 10: Gerar a árvore de caminhos mínimos.....	194
5.1.11 Etapa 11: Elaboração da matriz de tempo de viagem – MTV	195
5.1.12 Etapa 12: Definição e filtragem das viagens longas	196
5.1.13 Etapa 13: Aplicar filtro na matriz unitária	197
5.1.14 Etapa 14: Alocação da matriz unitária filtrada.....	197
5.1.15 Etapa 15: Construção do <i>ranking</i> dos trechos alocados	198
5.1.16 Etapa 16: Otimização	199
5.1.17 Etapa 17: Priorização dos trechos identificados na otimização para implantação de áreas de descanso	200
5.2 CONSIDERAÇÕES.....	201
6 CONCLUSÕES	203
6.1 LIMITAÇÕES DA PESQUISA	205
6.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	205
REFERÊNCIAS	207

INTRODUÇÃO

Com o relacionamento comercial cada vez mais globalizado, o deslocamento eficiente de produtos torna-se uma propriedade fundamental na economia dos países. Além disso, o relacionamento entre produtores e consumidores precisa, cada vez mais, de agilidade. Os produtores almejam vender e, conseqüentemente, entregar seus produtos no maior número de localidades possível, ampliando suas possibilidades de lucros. Já os consumidores, atualmente, querem comprar produtos de qualquer lugar do mundo e recebê-los no menor tempo possível.

Segundo Silva (2010), o transporte de cargas é um elemento primordial na economia mundial, pois o deslocamento de mercadorias fornece apoio à produção, ao comércio e às atividades de consumo. A garantia do transporte eficiente e a disponibilização, em tempo hábil, de matérias-primas e produtos acabados são vitais para a economia. O transporte, juntamente com a administração, a armazenagem, o estoque e os trâmites legais, compõe a estrutura de custos logísticos, representando, assim, uma parcela significativa do custo dos produtos, bem como da despesa nacional de qualquer país.

O deslocamento mundial de mercadorias depende de uma matriz de transporte com multimodalidade que utiliza, principalmente, os transportes rodoviário, ferroviário e aquaviário. Normalmente, o transporte de cargas por ferrovias ou hidrovias ocorre quando existem deslocamentos de longa distância, embora o desequilíbrio da matriz de distribuição modal e as potencialidades hidroviárias e ferroviárias ainda pouco exploradas forcem a escolha pelo modo rodoviário, que ainda é o mais representativo no Brasil. Conforme afirma o estudo da Confederação Nacional de Transporte (CNT), o Serviço Social do Transporte (SEST) e o Serviço Nacional de Aprendizagem do Transporte (SENAT) (2014), a maioria dos deslocamentos de bens e de pessoas, no Brasil, ocorre pelo modo rodoviário, embora, segundo o mesmo estudo, apenas 12% da malha seja pavimentada.

A ênfase ao modo rodoviário e o conseqüente desbalanceamento da matriz de transporte são apontados como importantes responsáveis pelos altos custos logísticos e de transporte no Brasil, que prejudicam a competitividade internacional e inter-regional e que poderiam ser evitados, caso a escolha do modo de transporte fosse a mais adequada.

Alguns planos estratégicos foram desenvolvidos pelo governo brasileiro com o intuito de, entre outros, fomentar a multimodalidade, como é o caso do Plano Nacional de Logística e Transportes (PNLT) e

do Plano Nacional de Integração Hidroviária (PNIH), este último designado, especificamente, para o fomento das potencialidades hidroviárias das seis bacias brasileiras (MT; SPNT; LOGIT/GISTRAN, 2012; ANTAQ, 2013)¹.

O modo rodoviário, por ter mais participação no transporte de cargas e pessoas, deve acompanhar as melhorias nas outras modalidades para que os efeitos positivos da multimodalidade ocorram. O constante aumento da frota de veículos, no Brasil, também é fator preponderante para se pensar novas estratégias em infraestrutura e mobilidade, pois, enquanto a malha pavimentada cresceu apenas 13,8% em dez anos (2004-2014), a frota de veículos aumentou 122%; e o número de acidentes, 77,9% no mesmo período (CNT; SEST SENAT, 2014).

A seguir, lista-se as principais características do transporte rodoviário de carga no Brasil (MT/BIT, 2014):

- maior representatividade entre os modos existentes;
- adequado para distâncias curtas e médias;
- baixo custo inicial de implantação;
- alto custo de manutenção;
- grande impacto ambiental;
- maior sujeição a roubos de cargas;
- serviço de entrega porta a porta;
- flexibilidade devido à extensão da malha;
- agilidade moderada com relação à velocidade praticada;
- alto custo para viagens de longa distância;
- confiabilidade no tempo de entrega planejado;
- baixa capacidade de carga, com limitação de volume e peso; e
- integração de todos os estados brasileiros.

Segundo essa listagem, uma das vantagens do transporte rodoviário é o seu baixo custo inicial de implantação e a sua flexibilidade devido à maior oferta da malha, o que, muitas vezes, pode ser os principais atrativos para os produtores.

Silva (2014) afirma que, apesar de existirem produtores/empresas que preferem gerenciar toda a cadeia do transporte, que vai do gerenciamento da frota até a logística de deslocamento de produtos e

1 Ministério dos Transportes (MT); Secretaria de Política Nacional de Transporte (SPNT); Consórcio LOGIT/GISTRAN; Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ).

afins, existe uma tendência de terceirização do serviço de transporte, pois, assim, a empresa foca no seu nicho de mercado.

De acordo com RNTRC-ANTT (2016), a maioria dos veículos registrados para realizar o transporte rodoviário de carga é composta de caminhões simples (8T a 29T) com mais de 600 mil veículos, caminhão trator com mais de 400 mil veículos, e semi-reboque com mais de 550 mil veículos.

Silva (2014) ainda comenta que as empresas transportadoras, muitas vezes, no anseio de prestar serviços sob medida para cada cliente, complicam as operações de transporte, pois as demandas de alguns clientes são atendidas simultaneamente, utilizando o mesmo veículo ou comboio. Com esse problema em mãos, os transportadores precisam definir rotas regulares e ajustar suas propriedades para atender às expectativas de um número maior de clientes. Entre essas propriedades, destaca-se as paradas intermediárias, a frequência, o tipo de veículo, a capacidade e a velocidade.

Os transportadores definem uma série de rotas ou serviços, cada uma com suas características operacionais. As programações das operações, muitas vezes, são agrupadas considerando os tempos de chegada e de partida e as paradas de cada percurso. As empresas transportadoras definem uma série de regras e políticas que afetam o sistema como um todo. O objetivo é garantir que a empresa opere de maneira racional e eficiente para que os serviços propostos sejam realizados conforme acordado com o cliente (SILVA, 2014).

Muitas vezes, a pressão pelo atendimento ágil e eficiente faz com que as transportadoras precisem, cada vez mais, investir em rapidez na entrega, já que esta está atrelada à diminuição dos custos e, consequentemente, ao aumento dos lucros.

Os motoristas autônomos estão em situação mais vulnerável que os caminhoneiros contratados por empresas, pois são os primeiros que, na maioria das vezes, acabam tendo de submeter-se a jornadas excessivas de trabalhos e à pressão por entregas rápidas. Além da atividade estressante que exercem, trabalham com baixa remuneração e, praticamente, sem treinamentos, além de serem submetidos à grande pressão para entrega de mercadorias dentro dos prazos apertados estipulados pelo mercado, gerando, assim, carga de trabalho excessiva (CORRÊA, 2009).

Alguns países já criaram leis para regulamentar as horas de direção e descanso dos motoristas de caminhão, como os Estados Unidos e os países que constituem a União Europeia. Nos Estados Unidos, a lei surgiu em 1938 e teve sua última modificação realizada em

2011. O órgão atualmente responsável pela regulação das horas de serviço dos motoristas é a Federal Motor Carrier Safety Administration (FMCSA), vinculada ao Department of Transportation dos Estados Unidos (USDOT). A União Europeia, por sua vez, estabeleceu a regulação das horas de serviço dos motoristas em 2006, efetivada no ano seguinte conforme afirma a Road Safety Authority (2007).

No Brasil, a Lei n. 12.619, de 30 de abril de 2012, alterou artigos da Consolidação das Leis Trabalhistas (CLT) e do Código de Trânsito Brasileiro (CTB), estabelecendo as regras para os motoristas profissionais de carga e passageiros. Depois de manifestações de caminhoneiros em fevereiro de 2015, com paralisação nacional da categoria, a Lei n. 12.619 sofreu alterações e foi substituída pela Lei n. 13.103, de 2 de março de 2015.

1.1 JUSTIFICATIVA

O Brasil é um dos países com o trânsito mais violento do planeta e, há alguns anos, vem tentando diminuir o alto número de acidentes por meio de ações em segurança viária. O controle municipal do trânsito, as exigências na fabricação dos veículos que possibilitem melhoria da segurança e a fiscalização eletrônica, além de novas leis, são algumas das várias iniciativas por parte dos governantes para tentar frear esse problema. Porém, elas ainda não conseguiram diminuir, significativamente, as mortes e as incapacidades provocadas pelos acidentes de trânsito (BACCHIERI; BARROS, 2011).

Os acidentes nas rodovias federais envolvendo veículos que transportam cargas somaram 93.066 de um total de 331.652 em 2011, ou seja, 28,06% dos acidentes nas rodovias federais envolvem os veículos que têm essa finalidade.

As mortes em acidentes tiveram um grande aumento de 2003 a 2012, com um crescimento de 35%. De 2012 a 2013, houve relativa diminuição nesse número, conforme é possível verificar no Gráfico 1.

Gráfico 1 - Evolução anual de mortos em acidentes de trânsito



Fonte: Vias Seguras (2016), com dados do DATASUS (2014).

De acordo com Bacchieri e Barros (2011), dentre os anos 2004 e 2007, os acidentes de trânsito que envolviam caminhões em rodovias federais cresceram 14%, chegando a um total de mais de 45.000, com mais de 3.100 mortos e mais de 20 mil feridos.

Segundo Corrêa (2009), as mortes de caminhoneiros no Brasil ocorrem em maior número do que nos Estados Unidos, por exemplo. Enquanto que, nos EUA, para cada grupo de 10 mil caminhoneiros, 25 morrem por ano em acidentes rodoviários; no Brasil, esse número chega a mais de 280 mortos para cada grupo de 10 mil.

Entre algumas causas para os acidentes de trânsito que envolvem motoristas de caminhão, destaca-se:

- excesso de velocidade para cumprir prazos de entregas exíguos;
- fadiga;
- falta de fiscalização; e
- utilização de drogas.

Alguns estudos que citam a sonolência e/ou a fadiga como as principais responsáveis pelos acidentes com caminhões nas estradas entre os últimos anos, nos Estados Unidos, são os de McCartt et al. (2000), Dorrian, Sweeney e Dawson (2011) e Chen e Xie (2014); na União Europeia, pode-se citar Philip et al. (2002), Goel (2012); e no Brasil, os estudos de Pinho (2005) e Souza, Paiva e Reimão (2008).

McCartt et al. (2000) e Philip et al. (2002) associam, diretamente, a sonolência à longa duração e à organização inapropriada da jornada de trabalho desses motoristas. Essa associação é corroborada em estudo do Instituto do Sono da Universidade Federal de São Paulo. Em pesquisa,

esse Instituto concluiu que 15% dos acidentes nas rodovias têm como causa o cochilo, que 60% dos motoristas de ônibus apresentam sonolência em serviço, que 16% costumam cochilar, em média, oito vezes a cada viagem e que 43% dos motoristas de ônibus interestadual sofrem de sonolência excessiva (CORRÊA, 2009).

Para evitar a sonolência e o cansaço e, assim, conseguir entregar a mercadoria dentro do prazo estipulado, alguns motoristas fazem uso de anfetaminas, conforme afirma o estudo de Nascimento, Nascimento e Silva (2007). Os autores concluíram que 37% dos entrevistados dormiam de quatro a seis horas por dia e que 34% tinham jornada de trabalho acima de 12 horas. Outros resultados desse estudo mostram que 66% dos motoristas costumavam fazer uso de anfetaminas durante as viagens, entre os quais 27% usavam-nas todos os dias; e, 60%, de duas a três vezes por semana. A maioria (76%) relatou que o motivo para o uso da droga é a pressa para chegar ao local de destino. Além disso, 27% dos entrevistados relataram envolvimento em acidentes nas estradas devido ao uso dessas drogas.

Portanto, percebe-se que tanto a fadiga quanto a sonolência podem originar-se do planejamento ou cumprimento inadequados da jornada de trabalho e que a tentativa de remediar esses estados com drogas estimulantes gera, igualmente, alto risco de acidentes.

Em novembro de 2015, o ministro do Trabalho e da Previdência Social regulamentou a realização de exames toxicológicos nos motoristas profissionais prevista na Lei n. 13.103. Com essa medida, eles são obrigados a realizar, na ocasião da admissão e do desligamento, o novo teste de queratina que tem janela de detecção de 90 dias. Ele tem validade de 60 dias a partir da data da coleta da amostra e é guardado sob sigilo.

Ao desencorajar o uso de anfetaminas e afins, a portaria pretende reduzir o número de casos de motoristas que fazem uso de drogas para cumprir com jornadas excessivas de trabalho, o que converge para o cumprimento das horas de descanso e de serviço estabelecidas na mesma Lei n. 13.103 e busca evitar os óbitos causados por fadiga e/ou uso de psicoativos.

Existem diversas iniciativas e estudos que tentam encontrar uma fórmula para calcular os valores gastos, direta ou indiretamente, com acidentes de trânsito. É uma questão complexa, pois envolve dados de diversas instituições que, normalmente, não são integradas. O Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea) e a Polícia Rodoviária Federal (PRF) têm se incumbido de realizar pesquisa sobre os custos de

acidentes nas rodovias federais, com publicações em 2006 e, recentemente, 2015.

Estima-se que o custo médio por acidente com caminhão nas rodovias federais, é de, respectivamente: R\$ 22.313,92 para acidentes sem vítimas; R\$ 65.656,00 para acidentes com vítimas; e de R\$ 47.825,45 para acidentes que envolvem morte (IPEA; PRF, 2015)². Quando o acidente envolve caminhão pesado ou semipesado, o prejuízo é de R\$ 150.000, conforme levantamento do Volvo Group (VOLVO GROUP, 2015). Entre os custos incalculáveis dos acidentes de trânsito, ou seja, aqueles que atingem subjetivamente e efetivamente as pessoas envolvidas, pode-se figurar os traumas, as incapacidades adquiridas e os óbitos.

Segundo Deslandes, Silva e Ugá (1998), os hospitais públicos Hospital Municipal Miguel Couto (HMMC) e Hospital Municipal Salgado Filho (HMSF) fizeram uma medição de seus custos com atendimento emergencial em 1996 provocados por violência. Do total, os acidentes de trânsito correspondiam a mais de 67% dos custos no HMMC. Já no HMSF, os acidentes de trânsito correspondiam a mais de 46% dos custos.

De acordo com Tamayo (2010), os custos econômicos dos acidentes, a perda ou seqüela de vidas humanas vêm fazendo com que diferentes setores sociais mobilizem-se para que o planejamento viário considere a segurança viária uma premissa básica. Quando se trata de planejamento dos sistemas de transportes, a segurança no trânsito deve ser uns dos principais elementos a ser estudado. O objetivo é garantir a segurança de motoristas, passageiros e pedestres.

Desde a sanção da Lei n. 12.619/2012, em 2012, houve extensa discussão para que ela fosse revista. Em 2013, houve paralisação nacional dos caminhoneiros, os quais, além da revisão da lei, reivindicavam a isenção do pagamento do pedágio para caminhões e a redução do preço do diesel. Em fevereiro de 2015, houve nova paralisação que alcançou 12 estados. As reivindicações foram as mesmas de 2013, acrescentando-se a elas o aumento do valor do frete, com instituição de uma tabela mínima por parte da Agência Nacional de

² Esses valores consideram apenas os custos associados aos veículos (danos materiais ao veículo, perda de carga e remoção/pátio). De acordo com o relatório do Ipea e da PRF (2015), além deles, os custos associados aos acidentes incluem os custos relativos às pessoas (cuidados em saúde, perda de produção e remoção/translado) e custos institucionais (atendimento do acidente e de danos patrimoniais).

Transportes Terrestres (ANTT) e mudanças na legislação (mais horas de trabalho diárias). Os grevistas afirmavam que o diesel custava em torno de 60% do valor do frete. Em novembro do mesmo ano, os caminhoneiros voltaram à greve. Após pressão da categoria e consideração das entidades responsáveis, a Lei n. 12.619/2012 tomou a forma da Lei n. 13.103, de 2 de março de 2015.

Em setembro de 2015, o DNIT e a ANTT, em atenção à Lei n. 13.103, publicaram em seus *sites* a relação dos trechos com Pontos de Parada e Descanso (PPD) adequados conforme a lei. A Figura 1 e a Figura 2 trazem a publicação dos trechos, na íntegra, conforme se deu nos *sites* do DNIT e da ANTT, respectivamente.

Figura 1 - Rodovias federais sob jurisdição do DNIT com Pontos de Parada e Descanso (PPDs)

TRECHOS COM PPD QUE MANIFESTARAM INTERESSE NO RECONHECIMENTO				
ÓRGÃO	UF	BR	TRECHO	EXTENSÃO
DNIT	GO	070	km 290,1 à Div. GO/MT	184
DNIT	GO	364	Div. GO/MT à Div. GO/MG	380,9
DNIT	MA	010	Div. MA/PA ao Entr. BR-230	339
DNIT	MA	222	Entr. BR-010 ao Entr. BR-316	314
DNIT	MA	230	Div. MA/PI ao Entr. BR-010	565
DNIT	TO	153	Entr. BR-242 (A) Gurupi à Div. TO/PA	657,5
DNIT	TO	226	Div. TO/MA à BR-153	69,7

Fonte: DNIT (2015).

Figura 2 - Rodovias federais concedidas com PPDs

Relação dos trechos com Pontos de Parada e Descanso (PPD) adequados ou em processo de adequação.

CONCESSIONÁRIA	RODOVIA	TRECHO
NOVADUTRA	BR-116/RJ/SP	Rio de Janeiro/RJ - São Paulo/SP
CONCER	BR-040/MGRJ	Rio de Janeiro/RJ - Juiz de Fora/MG
CRT	BR-116/RJ	Rio de Janeiro/RJ - Teresópolis/RJ – Além Paraíba/MG
CONCEPA	BR-290/RS	Osório - Porto Alegre
ECOSUL	BR-116/293/392/RS	Polo de Pelotas
TRANSBRASILIANA	BR-153/SP	Divisa MG/SP - Divisa SP/PR
PLANALTO SUL	BR-116/PR/SC	Curitiba - Divisa SC/RS
FERNÃO DIAS	BR-381/MG/SP	Belo Horizonte - São Paulo
RÉGIS BITTENCOURT	BR-116/SP/PR	São Paulo/SP - Curitiba/PR
LITORAL SUL	BR-116/376/PR - BR-101/SC	Curitiba/PR - Florianópolis/SC
RODOVIA DO AÇO	BR-393/RJ	Divisa MG/RJ - Entr.BR-116
VIABAHIA	BR-116/324/BA e BA526/528	Divisa MG/BA - Salvador-Base Naval de Aratu
ECO101	BR-101/ES/BA	Entroncamento BA-698 (Acesso a Mucuri) até Divisa ES/RJ
MGO	BR-050/MG/GO	Entroncamento com a BR-040 (Cristalina/GO) - Divisa MG/SP
CONCEBRA	BR-060/153/262/DF/GO/MG	BR-060 e BR-153 DF até à divisa MG/SP e BR-262, da BR-153/MG à BR-381/MG
CRO	BR-163/070/MT	Divisa MT/MS até entroncamento com a rodovia MT 220
MS Via	BR-163/MS	Início na divisa com o estado do MT e término na divisa com o PR
VIA 040	BR-040/DF/GO/MG	Brasília/DF - Juiz de Fora/MG
GALVÃO	BR-060/153/262/DF/GO/MG	Anápolis/GO (BR-060) até Aliança do Tocantins/TO (TO-070)

Obs.: O levantamento das informações referentes ao trecho da BR-101/RJ – Divisa RJ/ES – Ponte Presidente Costa e Silva, administrado pela Autopista Fluminense S.A., encontra-se em andamento. Oportunamente, esta página será atualizada em relação a essa informação. Também não é contemplada a Ponte Rio-Niterói, dado tratar-se de obra de arte especial, em perímetro urbano e com pequena extensão.

Fonte: ANTT (2015).

Percebe-se que nem o primeiro texto (DNIT) e tampouco o segundo (ANTT) assumem a real existência de PPDs adequadas conforme a Lei. O DNIT menciona trechos que apenas “manifestaram interesse no reconhecimento”, enquanto a ANTT é vaga ao não especificar quantos pontos exatamente estão adequados e quantos pontos ainda não estão. Dessa forma, o presente estudo parte da premissa de que a infraestrutura para repouso ou descanso atualmente oferecida aos motoristas nas rodovias federais brasileiras, quando não é insuficiente, não atende às suas necessidades.

Essa premissa é, inclusive, um dos problemas destacados pela classe de caminhoneiros. Segundo o *site* Estradas.com.br (2015), importante veículo de divulgação e comunicação,

Passados 180 dias da entrada em vigor da nova Lei, não existe nenhum ponto de parada no país credenciado. O Ministério dos Transportes publicou apenas uma lista dos trechos em que potenciais PPDs manifestaram interesse em serem indicados mas reconhece que nenhum atende a Portaria do Ministério dos Transportes. Com isso os motoristas podem alegar que não pararam por falta de ponto. A lista preparada pela ANTT-Agência Nacional de Transportes Terrestres indica “trechos em processo de adequação” mas nenhum

ponto que cumpra as exigências. Portanto, são 69 mil quilômetros de rodovias federais, somando concedidas e não concedidas, sem teoricamente nenhum local para que o caminhoneiro pare atendendo a legislação em vigor.

Os motoristas acrescentam que os pontos existentes ou os que são utilizados para tal (como postos de gasolina), muitas vezes, não oferecem segurança suficiente ou lotam facilmente, principalmente no período da noite, quando estão mais propícios à fadiga. Para que a legislação vigente do Brasil possa ser cumprida e, assim, possa-se evitar acidentes nas rodovias potencialmente causados pela fadiga dos motoristas, esta tese visa responder à seguinte questão: qual a localização dos segmentos rodoviários que necessitam de áreas de descanso?

Conforme discutido brevemente, os índices de acidentes com óbito nas estradas são altíssimos, e muitos deles envolvem motoristas a serviço de transportadoras de cargas. Logo, é necessário o aparelhamento do Estado e de seus órgãos competentes para que se possa criar leis, fiscalizar o cumprimento delas e verificar sua real possibilidade de aplicação. Compreendendo a importância de todos esses itens, esta tese volta-se, especificamente, para a aplicabilidade da Lei.

É necessário assegurar o cumprimento da legislação vigente sobre as áreas de descanso para que os motoristas possam usufruir adequadamente do seu período de repouso antes de iniciar uma nova jornada, reduzindo, assim, o número de acidentes nas rodovias. O objetivo principal dessas medidas é a melhoria da segurança rodoviária por meio da redução da fadiga e da sonolência dos motoristas do Transporte Rodoviário de Cargas (TRC), resultando em forte impacto sobre as condições de trabalho e de segurança nas rodovias.

1.2 OBJETIVOS

Nesta seção, são descritos o objetivo geral e os objetivos específicos.

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo principal desta pesquisa é desenvolver um método que possibilite que todas as viagens do transporte rodoviário de cargas

possam ser realizadas respeitando a legislação relativa à jornada de trabalho dos motoristas profissionais.

1.2.2 Objetivos específicos

Para alcançar o objetivo geral desta pesquisa, os seguintes objetivos específicos são estabelecidos:

- elaborar procedimento para definição da área de estudo;
- elaborar um método que possa considerar as áreas de descanso existentes;
- elaborar um método que não demande coleta de dados em campo;
- apoiar a fiscalização da jornada de trabalho dos motoristas profissionais;
- definir um método que respeite todos os parâmetros legais da jornada de trabalho dos motoristas profissionais;
- garantir que todas as viagens sejam contempladas pelo método;
- definir um método de classificação das viagens;
- elaborar procedimento para a criação de *ranking* dos trechos alocados;
- elaborar algoritmo de otimização a identificação do conjunto de trechos rodoviários; e
- garantir que seja possível priorizar a implantação dos trechos rodoviários identificados.

1.3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Pesquisa é um processo formal e sistemático de definição do método científico com o grande objetivo de encontrar respostas para problemas definidos (GIL, 2005). O segundo, por sua vez, é um conjunto de informações iniciais e um conjunto de operações ordenadas com o objetivo de se alcançar resultados a partir de formulações realizadas sobre o tema (TARTUCE, 2006).

De acordo com Gerhart e Silveira (2009), a pesquisa tem seu início somente após ter sido formulada uma pergunta para a qual se deseja buscar uma resposta satisfatória. Assim, é possível definir pesquisa como sendo o processo de procura por respostas. Os motivos que levam a pesquisa científica a ser realizada são, basicamente, razões

intelectuais e razões práticas. Ou seja, o desejo de conhecimento pela própria satisfação de aprender ou o desejo de fazer uma atividade de maneira eficaz. Acrescenta-se à definição dos autores que, entre as razões práticas de uma pesquisa, estão a necessidade de compreender e de solucionar problemas do mundo real.

As pesquisas podem ser classificadas, por exemplo, do ponto de vista de sua natureza, da forma de abordagem do problema, de seus objetivos e dos procedimentos técnicos (SILVA; MENEZES, 2005). O presente trabalho pode ser classificado, do ponto de vista de sua natureza, como sendo uma pesquisa aplicada, cujo objetivo é gerar conhecimentos práticos e focar na solução de problemas específicos.

Já em relação à forma de abordagem do problema, é uma pesquisa quantitativa, pois considera aspectos que podem ser quantificáveis, ou seja, transformar em números opiniões e informações para classificá-las e analisá-las utilizando técnicas estatísticas e matemáticas (SILVA; MENEZES, 2005).

Do ponto de vista de seus objetivos, o presente trabalho pode ser classificado como exploratório, pois visa familiarizar-se com o problema com vistas a torná-lo explícito ou a construir hipóteses. Em geral, são pesquisas bibliográficas e estudos de caso. No entanto, também é descritivo, pois a pesquisa descritiva expõe propriedades de fenômenos, estabelecendo relações entre variáveis (SILVA; MENEZES, 2005).

No que concerne aos procedimentos técnicos, este trabalho pode ser classificado como pesquisa bibliográfica e experimental, pois, segundo Silva e Menezes (2005), pesquisa bibliográfica é aquela elaborada a partir de material já publicado; enquanto que a pesquisa experimental é definida com um objeto de estudo selecionando as variáveis que seriam capazes de influenciá-lo e definindo os controles dos efeitos que a variável produz no objeto.

A pesquisa bibliográfica está sendo realizada com artigos científicos, dissertações, teses, em instituições públicas e na *internet* de forma geral. O método proposto está sendo desenvolvido a partir do levantamento de métodos existentes, dos conceitos de planejamento e modelagem de transportes.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Nesta seção introdutória, foram apresentadas a justificativa do trabalho, os seus objetivos e os procedimentos metodológicos.

Na seção 2, consta a fundamentação teórica do estudo, com os principais conceitos necessários ao desenvolvimento do trabalho, que são o suporte para a análise e as reflexões feitas sobre os dados e/ou as informações coletados a serem discutidas posteriormente. São apresentados os conceitos de planejamento de transportes, sistemas de informações geográficas e uma revisão bibliográfica de métodos relevantes para o cálculo de demanda de parada de caminhões.

Na seção 3, apresenta-se um panorama dos acidentes de trânsito no Brasil e no exterior, trazendo algumas ações que visam conter o problema. Discute-se, também, como a fiscalização é feita no País e quais são as instituições envolvidas no setor de transporte rodoviário brasileiro e suas atribuições específicas. A seção também traz um panorama das áreas de descanso no Brasil e no exterior.

A seção 4 apresenta o método proposto para o planejamento viário de áreas de descanso e descreve todas as etapas que o compõem. Traz como resultado a identificação dos trechos rodoviários que necessitam de áreas de descanso para que os deslocamentos entre as zonas de tráfego fiquem aderentes à legislação.

A seção 5 apresenta o exemplo numérico realizado com uma rodovia fictícia e as considerações a respeito da sua aplicação.

Por fim, a seção 6 traz as conclusões, as limitações desta tese e sugestões para trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção, abordam-se itens referentes a três peças fundamentais para a elaboração desta pesquisa, a saber: planejamento de transportes, Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e métodos para calcular demanda por parada de caminhões.

O planejamento de transportes é a área em que se insere esta pesquisa, visto que busca oferecer uma alternativa para o sistema viário atual existente nas rodovias federais.

Os SIGs são sistemas comumente utilizados na área de transporte e logística, como será visto a seguir. A presente pesquisa apoia-se em um sistema que se utilizará de um SIG para realizar a localização adequada das áreas de descanso a serem implantadas.

O último item desta seção refere-se aos principais métodos já elaborados para determinar a demanda por parada de caminhões.

2.1 PLANEJAMENTO DE TRANSPORTES

Em geral, o processo de planejamento de transportes é complexo e aplicável a uma ampla gama de situações com propósitos variados. Neste âmbito, há estudos de pequeno porte, tais como:

- implantação de uma linha de ônibus;
- aumento de calado de um porto;
- construção de um terminal rodoviário; e
- implantação de uma plataforma logística.

Da mesma maneira, também existem estudos de grande porte, por exemplo:

- implantação ou modernização de uma rede ferroviária nacional;
- modernização de portos;
- implantação de um metrô em uma grande cidade.

Todas as situações envolvem uma estrutura básica comum, que conta com os seguintes elementos:

- levantamento de dados e informações;
- previsão da demanda; e
- avaliação (atendimento à demanda, nível de serviço, relação custo-benefício).

A previsão da demanda, de forma geral, é estimada fazendo-se uso de modelos ou relações matemáticas.

Para compreender a modelagem usada no planejamento de transportes, é necessário conhecer os conceitos básicos envolvidos, os quais serão discutidos nas subseções a seguir.

2.1.1 Conceitos básicos

A seguir, serão apresentados os conceitos de viagem, de área de estudo e zoneamento e itens básicos no planejamento de transportes.

2.1.1.1 Viagem

Consiste no movimento em um sentido, desde um ponto de origem até um ponto de destino. Esses pontos são denominados extremos de viagem. Ressalte-se que a viagem pode se referir a uma pessoa ou a um veículo.

2.1.1.2 Área de estudo

Para que seja possível definir uma determinada demanda, precisa-se, primeiramente, determinar a área de estudo de cada segmento (rodoviário, neste caso). A área de estudo a ser determinada consiste em uma grande área onde se espera que a área de influência esteja contida.

Para definir essa área de estudo, calculam-se todas as matrizes de geração e distribuição de cargas, atuais e futuras, que serão, posteriormente, alocadas na rede de transportes. Fazem parte dessa área as zonas de tráfego que, efetivamente, utilizarem o trecho ferroviário em análise para escoar suas cargas.

A área de estudo, geralmente, é caracterizada por microrregiões geográficas que, de acordo com a Resolução do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) n. 11, de 5 de junho de 1990, são “um conjunto de municípios contíguos e contidos na mesma Unidade da Federação, definidos com base em características do quadro natural, da organização da produção e de sua integração”.

A área de estudo de um projeto divide-se da seguinte maneira:

- área de influência direta: engloba os segmentos que são objetos do estudo e também outros trechos que influenciam, diretamente, os segmentos de via estudados; e
- área de influência indireta: é aquela localizada para além do cordão externo.

É importante escolher o nível de detalhe a ser adotado no estudo. Nesse sentido, busca-se um balanço entre o nível de precisão e o custo. A definição da área de estudo é o primeiro passo para alcançar esse objetivo. Entre algumas ideias para nortear a sua definição, pode-se citar:

- considerar o contexto da tomada de decisão, o sistema objeto de estudo, a natureza das viagens de interesse (de curta ou longa distância, opcionais ou imperativas etc.); e
- para estudos estratégicos, definir a área de estudo de forma que a maioria das viagens tenha origem e destino em seu interior (em geral, a área de estudo deve ser mais ampla do que a área de interesse específico).

2.1.1.3 Zoneamento

A área de estudo é dividida em zonas de tráfego de acordo com os objetivos do estudo, sendo número e tamanho as suas principais grandezas. Os estudos estratégicos, por exemplo, demandam zonas mais amplas, e estudos de tráfego em cidades, normalmente, demandam zonas pequenas. Porém, é importante que se mantenha o mesmo sistema de zoneamento, pois assim pode-se reaproveitar os dados em projetos futuros, além de poder ser replicado para vários outros estudos aplicados a áreas relacionadas e proporcionar comparações (ORTÚZAR; WILLUMSEN, 2011).

Para definir as zonas, deve-se levar em conta onde começam e terminam as viagens, assim como quais os principais corredores de movimento.

Por exemplo, no plano diretor de um Estado, as zonas de tráfego podem ser:

- municípios (zonas de 1º nível); e
- microrregiões (zonas de 2º nível).

Para o plano diretor de uma cidade, as zonas de tráfego podem ser:

- agrupamento de setores censitários;
- bairros;
- distritos.

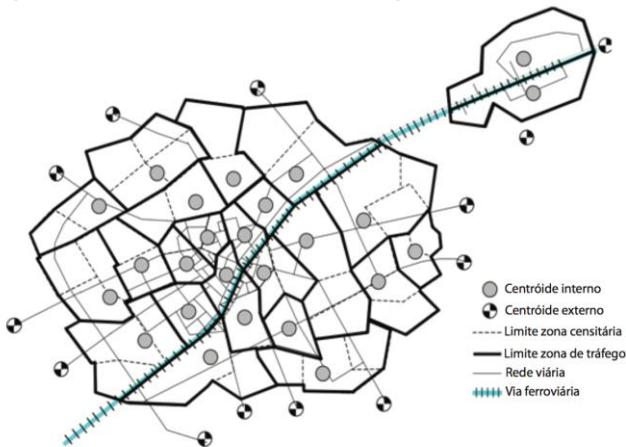
Cabe lembrar que, ao realizar o zoneamento, é importante levar em consideração os limites zonais usados por outros órgãos.

As zonas de tráfego são compostas por zonas externas e centroides. As zonas externas são zonas de tráfego fora da área limitada

pelo cordão externo e que aumentam de tamanho conforme o aumento da distância da área de estudo. Centróide é o nome dado ao ponto onde se imagina que está concentrada a maior parte das atividades de uma determinada zona de tráfego. Para efeitos de modelagem, todas as viagens têm início e fim nos centróides.

A localização do centróide depende da configuração da zona, podendo ser o centro gravitacional ou um ponto escolhido devido à densidade das atividades. A Figura 3 ilustra o conceito de centróide.

Figura 3 - Centróides das zonas de tráfego



Fonte: Freitas (2015).

Cabe lembrar que:

- é importante que as zonas sejam relativamente compactas e convexas;
- o estudo do uso do solo conduz ao zoneamento e à definição das variáveis socioeconômicas de interesse; e
- depois de feito o zoneamento, identificam-se os centróides.

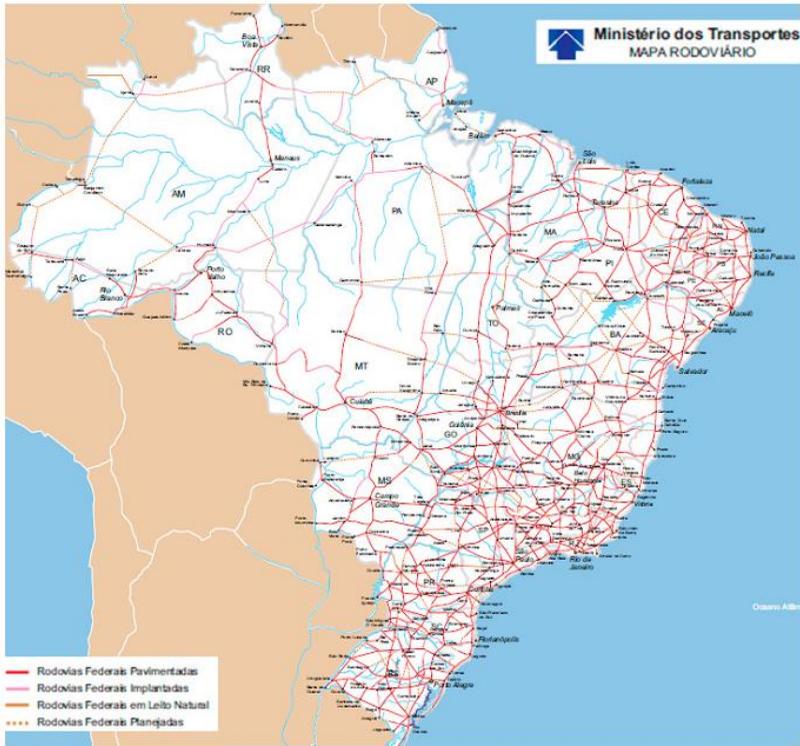
A definição do tamanho das zonas deve levar em conta que o erro de agregação causado pela hipótese de que todas as atividades estão concentradas no centróide não é muito grande. Pode ser interessante iniciar com um número elevado de zonas pequenas e agregá-las posteriormente dependendo da natureza do estudo, e é fundamental que essas zonas sejam compatíveis com as zonas do censo (IBGE). Outros critérios referentes às zonas de tráfego são:

- maior homogeneidade possível em relação ao uso do solo e/ou à composição da população;
- zonas censitárias com claras diferenças (por exemplo, setores residenciais com ampla diferença de níveis de renda) não devem ser agregadas, mesmo que sejam pequenas;
- evitar usar rodovias principais como limites de zonas, pois isso dificulta alocar às zonas as viagens que iniciam e/ou terminam nessas rodovias; e
- o tamanho das zonas não precisa ser igual. Elas podem ser similares em, por exemplo, unidades de tempo de viagem. Isso gera zonas menores em setores congestionados.

2.1.1.4 Representação da rede de transportes

A principal forma de representar uma rede de transporte é por meio de mapas. Um mapa consiste em uma representação detalhada do sistema de transporte real, conforme ilustrado na Figura 4.

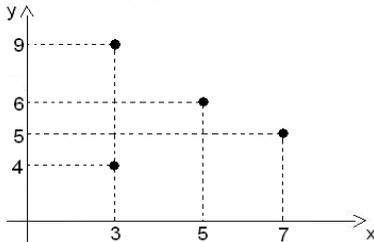
Figura 4 - Rodovias federais do Brasil



Fonte: Ministério dos Transportes (BRASIL, 2011).

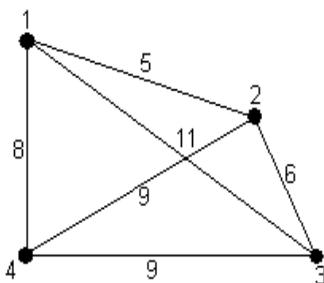
Para a modelagem, há necessidade de uma representação matemática da rede. Há diferentes níveis de detalhamento possíveis, conforme ilustram a Figura 5, a Figura 6 e a Figura 7.

Figura 5 - Espaço contínuo, com centroides e distâncias euclidianas



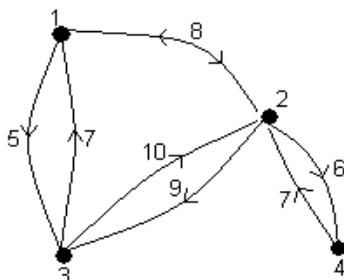
Fonte: o autor (2015).

Figura 6 - Grafo não direcionado (nós e arestas)



Fonte: o autor (2015).

Figura 7 - Grafo direcionado (nós e arcos)



Fonte: o autor (2015).

Em geral, representa-se uma rede de transporte por meio de um grafo direcionado.

Os nós normalmente representam cruzamentos de rodovias. Um centroide pode representar um nó. Quando isso não ocorre, podem-se usar conectores dos centroides à rede.

Os arcos ou *links*, em geral, são caracterizados por meio dos seguintes atributos, entre outros:

- comprimento;
- velocidade;
- número de faixas de rolamento;
- condição de pavimentação; e
- capacidade.

Em geral, a rede objeto de estudo é um subconjunto de redes mais amplas. Neste caso, definem-se pontos no cordão externo (pontos de acesso) e *links* artificiais que os conectam às zonas externas.

Uma decisão importante é a de estabelecer quantos níveis deverão ser incluídos na hierarquia da rede. Quanto mais ligações são incluídas, mais próxima da realidade estará a rede matemática. Na escolha da rede, deve-se levar em consideração: o balanço entre complexidade e realismo; a seleção de *links* mais relevantes e a particularidade de cada aplicação (ORTÚZAR; WILLUMSEN, 2011).

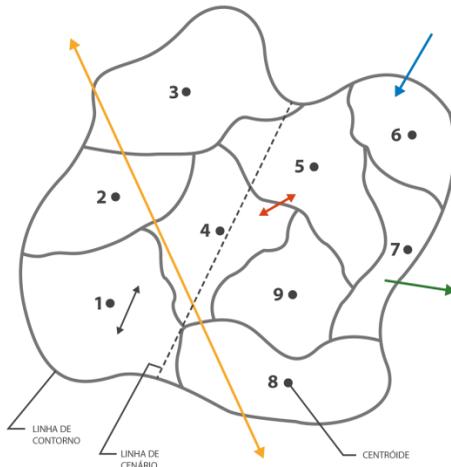
2.1.1.5 Tipos de viagem

Os tipos de viagens que se realizam em uma área de estudo podem ser classificados em (VALENTE, 1983):

- Externas → Externas (tráfego de passagem) - representado pela linha laranja;
- Externas → Internas – representado pela linha azul;
- Internas → Externas – representado pela linha verde; e
- Internas → Internas – representado pela linha vermelha.

A Figura 8 ilustra os diferentes tipos de viagem.

Figura 8 - Tipos de viagens



Fonte: Adaptada de Valente (1983).

2.1.1.6 Horizonte de estudo

Em geral, o planejamento de um sistema de transporte é feito para que esse sistema supra a demanda em uma data futura.

O horizonte de planejamento é dado por:

$$H = t_f - t_a \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

t_f = data futura; e

t_a = data atual.

Segundo Ortúzar e Willumsen (2011), o horizonte de estudo em estudos estratégicos de transporte é de 20 anos ou mais, para que se consiga manter a flexibilidade necessária em relação à demanda futura. Nesses casos, devem ser feitas revisões, adequações e correções de rumo intermediárias.

2.1.1.7 Matriz Origem e Destino (OD)

O conhecimento dos movimentos entre as diversas zonas de tráfego de uma área de estudo é fundamental para o planejamento de um sistema de transporte. Esses movimentos são determinados pela matriz de Origem e Destino (matriz OD) (CAMPOS, 2007).

Neste exemplo adaptado de Campos (2007), supomos que foram definidos a área de estudo e seu zoneamento. Codificam-se as zonas, por exemplo, usando uma numeração de 1 até n .

Usando a notação:

i = zona de origem;

j = zona de destino; e

T_{ij} = número de viagens de i para j .

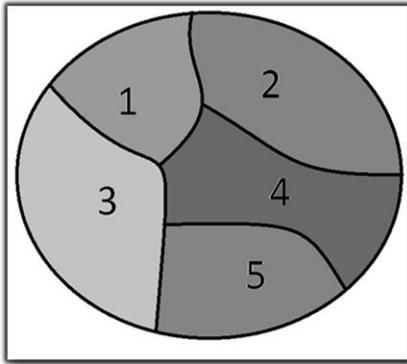
A matriz OD para a área de estudo é dada por:

$[T_{ij}]$ = Matriz de viagens

$$\begin{array}{c}
 1 \quad 2 \quad 3 \quad 4 \quad 5 \\
 [T_{ij}] = \begin{array}{c}
 1 \left[\begin{array}{ccccc}
 T_{11} & T_{12} & T_{13} & T_{14} & T_{15} \\
 2 \left[\begin{array}{ccccc}
 T_{21} & T_{22} & T_{23} & T_{24} & T_{25} \\
 3 \left[\begin{array}{ccccc}
 T_{31} & T_{32} & T_{33} & T_{34} & T_{35} \\
 4 \left[\begin{array}{ccccc}
 T_{41} & T_{42} & T_{43} & T_{44} & T_{45} \\
 5 \left[\begin{array}{ccccc}
 T_{51} & T_{52} & T_{53} & T_{54} & T_{55}
 \end{array} \right.
 \end{array} \right.
 \end{array} \right.
 \end{array} \right.
 \end{array} \quad \text{Equação 2}
 \end{array}$$

A Figura 9 representa a área de estudo utilizada no exemplo.

Figura 9 - Área de estudo



Fonte: o autor (2015).

Cabe lembrar que, muitas vezes, adota-se o valor zero nas células da diagonal principal. Nesse caso, interessam as viagens interzonais. Se o sistema é fechado, o número de viagens originadas em i se distribui pelas zonas de origem j . Denotando O_i o número de viagens que se origina em i , tem-se:

$$O_i = \sum_{j=1}^n T_{ij} \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

n = o número de zonas de tráfego da região de estudo.

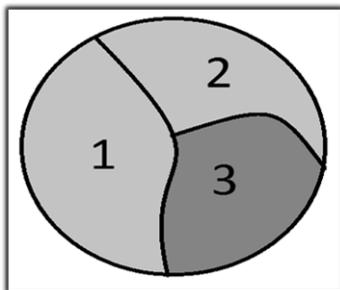
Da mesma forma, se D_j é o número de viagens que se destinam à zona j , e o sistema é fechado,

$$D_j = \sum_{i=1}^n T_{ij} \quad \text{Equação 4}$$

Observa-se que, na matriz OD, os O_i representam as somas das linhas e os D_j , as somas das colunas.

Para ilustrar esses conceitos, apresenta-se o exemplo a seguir.

Figura 10 – Área de estudo (exemplo)



Fonte: o autor (2015).

Matriz OD:

$$T_{ij} = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 1 & 0 & 2500 & 3800 \\ 2 & 2500 & 0 & 4600 \\ 3 & 3800 & 4600 & 0 \end{bmatrix} \quad \text{Equação 5}$$

$$O1 = 0 + 2500 + 3800$$

$$O1 = 6300 = D1$$

$$O2 = 2500 + 0 + 4600$$

$$O2 = 7100 = D2$$

$$O3 = 3800 + 4600 + 0$$

$$O3 = 8400 = D3$$

2.1.1.8 Agregação e desagregação

Os modelos agregados usam dados das zonas de tráfego e tentam expressar o comportamento coletivo de pessoas por meio de relações matemáticas. Os modelos desagregados, por sua vez, buscam representar o comportamento de um “indivíduo” em suas decisões de viagem.

O comportamento de pessoas que transitam nas zonas de tráfego é entendido como um dado endógeno, e é este comportamento que o modelo pretende replicar. Dados exógenos, por sua vez, são dados quaisquer que não sejam endógenos (ORTÚZAR; WILLUMSEN, 2011). Eles demandam um conhecimento profundo do analista em estatística e econometria, especialmente na interpretação de resultados.

2.1.1.9 Estrutura clássica de um plano de transportes

O fluxograma apresentado na Figura 11 mostra a estrutura clássica de um estudo para elaboração de um plano de transportes.

Figura 11 - Estrutura clássica de um plano de transportes



Fonte: o autor (2015).

Após o diagnóstico do uso do solo, do sistema de transporte e do sistema viário atual, deve-se proceder a uma análise dos dados disponíveis e/ou que possam ser coletados e utilizados no estudo.

2.1.2 Coleta de dados

Coleta de dados diz respeito às pesquisas realizadas dentro das zonas de tráfego que, de acordo com o tipo de modelo que será utilizado no estudo, podem visar a obtenção das seguintes informações:

- natureza das viagens;
- características socioeconômicas da população;
- geração e atração de viagens; e
- características dos sistemas de transportes.

Também podem ser feitos levantamentos para identificar:

- deslocamentos (origem e destino);

- meios de transportes utilizados (modo);
- tempos de viagem; e
- custos de viagem.

Os principais métodos de coleta de dados são (CAMPOS, 2007):

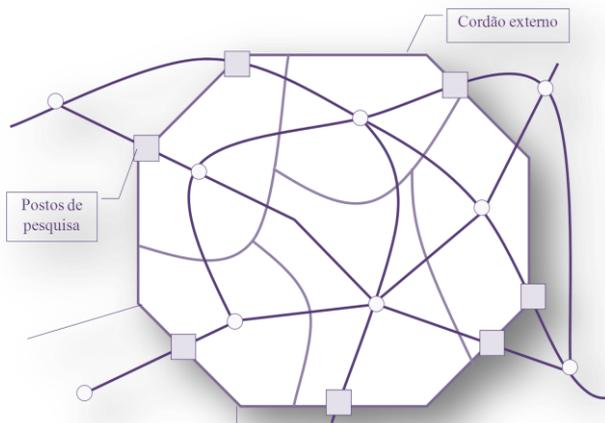
- entrevistas domiciliares;
- pesquisas no cordão externo e na *screen line*;
- contagens de tráfego (manuais e mecânicas);
- contadores automáticos nas vias; e
- pesquisa no tráfego (entrevistas diretas na via; cartões postais).

A seguir, comenta-se alguns métodos de coleta de dados citados por Campos (2007).

2.1.2.1 Pesquisas no cordão externo

As pesquisas no cordão externo (Figura 12) são realizadas nos principais corredores que cortam esse cordão e têm o objetivo de verificar os movimentos detectados na pesquisa domiciliar.

Figura 12 - Esquema de pesquisa no cordão externo



Fonte: o autor (2015).

A vantagem desta pesquisa é que ela toma dados a respeito de pessoas que efetivamente estão se movimentando. Pode ser feita por:

- entrevistas diretas;

- por simples contagem;
- por registro das placas; e
- pela distribuição de cartões selados, que serão preenchidos e devolvidos pelo correio.

Observa-se que este tipo de pesquisa só tem boa precisão para áreas pequenas. A contagem em vias geralmente é feita por meio de entrevistas diretas. Toma-se uma amostra de usuários da via, que são solicitados a parar em postos de pesquisa. Então, o entrevistador aplica um formulário especialmente preparado, que deve ser respondido pelo usuário. Nesse formulário, pode-se indagar sobre a origem, o destino e o propósito da viagem. Pode-se perguntar, também, sobre o que o usuário fazia antes da viagem (se estava em casa ou no trabalho, se fazia compras etc.).

2.1.2.2 Entrevistas diretas – contagem em veículos

As entrevistas diretas são utilizadas para pesquisas em veículos de carga ou de transporte coletivo. Neste tipo de entrevista, o entrevistador entra no veículo e faz as perguntas ou as contagens durante o deslocamento. Indaga sobre a origem, o destino e o propósito da viagem, sobre o tipo, volume e peso da carga etc.

2.1.2.3 Pesquisas através do correio

Pesquisas através dos correios são feitas enviando-se um formulário a cada domicílio de interesse solicitando que seja preenchido e devolvido pelo correio. No Brasil, a taxa de devolução é mínima. Caso seja oferecido algum prêmio, pode-se chegar a ter de 10 a 50% de respostas. Entretanto, deve-se tomar cuidado, pois a amostra recebida pode ser tendenciosa.

Na realidade, todas as formas de coleta de dados aqui descritas são caras, envolvendo recursos humanos e tempo dos entrevistados (CAMPOS, 2007).

2.1.2.4 Contadores automáticos nas vias

Uma forma mais econômica e viável é a coleta de dados por meio de contadores automáticos nas vias. Os contadores são aparelhos que, ao “perceberem” a passagem de uma massa metálica, fazem a contagem. Alguns conseguem diferenciar veículos pesados de automóveis.

A grande desvantagem é que só se tem a informação do número de veículos que passaram em um determinado sentido em um ponto específico da rede viária. Não se tem a informação sobre a origem e o destino das viagens.

Todos os métodos de coleta de dados expostos anteriormente têm, na sua essência, o objetivo de realizar uma Pesquisa Origem e Destino, que é a principal fonte de dados para o planejamento de transportes. Nessa pesquisa, deve-se considerar, entre outros aspectos:

- sazonalidade;
- variações ao longo dia; e
- variações ao longo da semana.

A pesquisa OD permite que se determine a Matriz OD, que é a base para o processamento matemático dos modelos convencionais de planejamento de transportes. Dentro da estrutura clássica de um plano de transporte, a modelagem é feita de forma sequencial, inicializando com os modelos de geração de viagens.

2.1.3 Modelos de geração de viagens

Esses modelos têm por objetivo estimar o número de viagens geradas ou atraídas por uma zona de tráfego em um determinado intervalo de tempo. A determinação do número de viagens tem como base (ORTÚZAR; WILLUMSEN, 2011):

- a situação presente: via pesquisas OD; e
- a situação futura: via previsões.

Para se estimar o número de viagens é necessário identificar os principais fatores que influenciam a demanda, quais sejam:

- padrão de uso do solo;
- características socioeconômicas da população; e
- estudos específicos dos meios de transportes disponíveis.

Os principais modelos de geração de viagem são:

- fator de crescimento;
- taxas de viagem;
- análise de categorias;
- regressão linear; e
- fator de crescimento.

2.1.3.1 Fator de crescimento

As equações básicas desse modelo são:

$$O_i = F_i * o_i \quad \text{Equação 6}$$

Onde:

o_i = número de viagens geradas na zona i no ano base;

O_i = número de viagens futuras geradas na zona i; e

F_i = fator de crescimento.

A equação anterior pode ser adaptada para viagens atraídas. Neste caso, tem-se:

$$D_j = G_j * d_j \quad \text{Equação 7}$$

Onde:

d_j = número de viagens atraídas pela zona j no ano base;

D_j = número de viagens futuras atraídas pela zona j; e

G_j = fator de crescimento.

A estimativa dos fatores de crescimento depende da escolha das variáveis usadas na sua definição. Em geral, usam-se variáveis socioeconômicas como:

- população;
- renda;
- propriedade de veículos; e
- densidade residencial ou comercial.

Por exemplo, uma forma de definir o fator de crescimento é dada por (ORTÚZAR; WILLUMSEN, 2011):

$$F_i = \frac{P_i^f . R_i^f . C_i^f}{P_i^a . R_i^a . C_i^a} \quad \text{Equação 8}$$

Onde:

P_i = população da zona i;

R_i = renda da zona i;

C_i = propriedade de veículos na zona i; e

a, f = índices que indicam valores atuais e futuros respectivamente.

Observa-se que este método tem valor limitado, tendendo a ser utilizado para estimativas simplificadas, por exemplo, em zonas rurais.

2.1.3.2 Taxas de viagem

O número de viagens é determinado pelo tipo de ocupação do solo. Para cada tipo de atividade, define-se uma taxa de produção e/ou atração de viagens.

Por exemplo: supõe-se que uma dada zona de destino apresenta as seguintes categorias de uso do solo:

- comercial: lojas e serviços;
- serviços públicos;
- residências; e
- lazer.

Busca-se determinar a taxa de viagens desagregada, por tipo de uso do solo, conforme exemplificado na Tabela 1.

Tabela 1 - Taxas de viagens por uso do solo

Uso do solo	Taxas de viagens por 1000m²
Comercial – lojas	7,5
Comercial – serviços	5,8
Residencial	2,7
Lazer	9,0

Fonte: o autor (2015).

Observa-se que, para projetar o número de viagens futuras atraídas pela zona, há a necessidade de se prever a área futura que será ocupada por cada categoria de uso do solo.

2.1.3.3 Regressão linear

A construção dos modelos de regressão linear é feita por meio do estabelecimento de uma relação entre o número de viagens (variável dependente) e os fatores que influenciam as viagens (variáveis independentes).

Um exemplo de um modelo de regressão múltipla é dado por:

$$y = a + bx_1 + cx_2 + dx_3 \quad \text{Equação 9}$$

Onde:

y = variável dependente;

x_1 , x_2 , x_3 = variáveis independentes ou explicativas do comportamento de y ; e

a, b, c, d = parâmetros a serem calibrados.

Para a definição das variáveis independentes, deve-se observar:

- se são realmente relacionadas com y ;
- se têm comportamento futuro possível de ser previsto; e
- se as variáveis independentes têm pouca ou nenhuma correlação entre si.

Existem modelos de regressão não lineares, mas que podem ser linearizados, como será apresentado a seguir.

Função potência

$$y = a_0 * x_1^{a_1} * x_2^{a_2} \dots x_n^{a_n} \quad \text{Equação 10}$$

Esta função pode ser linearizada pelo uso de logaritmos:

$$\log y = \log a_0 + a_1 \log x_1 + a_2 \log x_2 + \dots a_n \log x_n \quad \text{Equação 11}$$

Função exponencial

$$y = a_0 * e^{a_1 * x} \quad \text{Equação 12}$$

Observa-se que o modelo obtido deve ser validado usando-se os testes estatísticos padrões, a saber:

- coeficiente de correlação;
- erro padrão de estimativa;
- valor médio observado; e
- significância estatística.

A seleção de variáveis é um ponto crítico na elaboração do modelo. Devem-se levar em conta dois critérios fundamentais:

- todas as variáveis devem ser claramente medidas e caracterizadas; e
- todas as variáveis devem ser do mesmo tipo (não misturar variáveis, por exemplo, renda *per capita* e número total de automóveis).

Para usar a equação obtida para fins de previsão, assume-se que os coeficientes de regressão obtidos no ano base não se modificarão no

futuro. A etapa de geração de viagens e sua relação com a etapa de distribuição é ilustrada na Figura 13.

Figura 13 - Matriz OD *versus* viagens geradas

$i \backslash j$	1	2	3	...	n	$\sum o_i$	$\sum O_i$
1	t_{11}	t_{12}	t_{13}	...	t_{1n}	o_1	O_1
2	t_{21}	t_{22}	t_{23}	...	t_{2n}	o_2	O_2
3	t_{31}	t_{32}	t_{33}	...	t_{3n}	o_3	O_3
...	...	...	...	t_{ij}	...	...	...
n	t_{n1}	t_{n2}	t_{n3}	...	t_{nn}	o_n	O_n
$\sum d_j$	d_1	d_2	d_3	...	d_n	$\sum o_i = \sum d_j$	
$\sum D_j$	D1	D2	D3	...	dn		$\sum O_i = \sum D_j$

Fonte: o autor (2015).

2.1.4 Modelos de distribuição de viagens

O objetivo principal dos modelos de distribuição de viagem é estimar o número de viagens futuras [T_{ij}] entre as diversas (n) zonas de tráfego, em um determinado intervalo de tempo (ORTÚZAR; WILLUMSEN, 2011). Em geral, parte-se de uma matriz OD atual (Figura 14) em busca de uma matriz OD futura (Figura 15).

Figura 14 - Matriz OD atual

$i \backslash j$	1	2	3	...	n	$\sum o_i$	
1	t_{11}	t_{12}	t_{13}	...	t_{1n}	o_1	
2	t_{21}	t_{22}	t_{23}	...	t_{2n}	o_2	
3	t_{31}	t_{32}	t_{33}	...	t_{3n}	o_3	
...	...	...	...	t_{ij}	...	...
n	t_{n1}	t_{n2}	t_{n3}	...	t_{nn}	o_n	
$\sum d_j$	d_1	d_2	d_3	...	d_n	$\sum o_i = \sum d_j$	

Fonte: o autor (2015).

Figura 15 - Matriz OD futura

i \ j	1	2	3	...	n		ΣO_i
1	T_{11}	T_{12}	T_{13}	...	T_{1n}		O_1
2	T_{21}	T_{22}	T_{23}	...	T_{2n}		O_2
3	T_{31}	T_{32}	T_{33}	...	T_{3n}		O_3
...	...	...	...	T_{ij}	...		...
n	T_{n1}	T_{n2}	T_{n3}	...	T_{nn}		O_n
ΣD_j	D1	D2	D3	...	dn		$\Sigma O_i = \Sigma D_j$

Fonte: o autor (2015).

Para realizar a estimativa de $[T_{ij}]$, são necessários:

- a matriz $[t_{ij}]$ de viagens atuais, obtidas de pesquisas OD;
- a quantidade de viagens futuras com origem em i , O_i , estimadas por meio de modelos de geração de viagens;
- a quantidade de viagens futuras com destino j , D_j , estimadas por meio de modelos de geração de viagens;
- a matriz $[c_{ij}]$ de impedâncias atual (tempo, custo, distância, custo generalizado etc.), estimada com base em levantamentos e projetos; e
- matriz de impedâncias futura $[C_{ij}]$, estimada com base em levantamentos e projetos.

Porém, existem algumas restrições que devem ser observadas. A primeira diz respeito à conservação dos fluxos, onde a soma das viagens entre i e j é igual ao número de viagens que se originam em i (representada pela Equação 13), assim como a soma das viagens entre i e j é igual ao número de viagens que são atraídas por j (representada pela Equação 14).

$$\sum_{j=1}^n T_{ij} = O_i \quad \text{Equação 13}$$

$$\sum_{i=1}^n T_{ij} = D_j \quad \text{Equação 14}$$

A segunda tem a ver com a positividade, onde o número de viagens entre cada par de zonas deve ser maior ou igual a zero, não existindo viagens negativas.

$$T_{ij} \geq 0 \quad \text{Equação 15}$$

A terceira faz referência à consistência, em que o número total de viagens geradas pelas n zonas é igual ao número total de viagens atraídas por todas as zonas e igual ao número total de viagens na área de estudo (Equação 13).

$$\sum_{i=1}^n O_i = \sum_{j=1}^n D_j = T \quad \text{Equação 16}$$

Os principais métodos de distribuição de viagens são:

- métodos de fator de crescimento, em que são aplicados fatores de crescimento às viagens atuais com o objetivo de estimar as viagens futuras entre cada par de origem e destino;
- métodos sintéticos, que procuram estabelecer uma relação entre as viagens atuais e futuras por meio de associações com leis da Física.

Os métodos de fator de crescimento baseiam-se na extrapolação da distribuição existente por meio de fatores de crescimento [Fc] determinados com base nos estudos de geração de viagens. Sua equação geral é dada por:

$$T_{ij} = t_{ij} * Fc \quad \text{Equação 17}$$

A seguir, descreve-se os principais modelos de fator de crescimento.

2.1.4.1 Modelo do fator uniforme de crescimento

Admite-se um crescimento uniforme das zonas de tráfego. Supõe-se que o crescimento esperado de toda a área será uniforme, o que, normalmente, não é correto, pois existem taxas diferenciadas de crescimento urbano para cada região. Neste caso, o fator de crescimento é definido por:

$$Fc = \frac{T}{t} \quad \text{Equação 18}$$

Onde:

T = número total de viagens futuras; e

t = número total de viagens atuais.

2.1.4.2 Modelo do fator médio de crescimento

Esse modelo leva em conta o crescimento individual de cada zona de tráfego. O fator de crescimento é dado pela equação:

$$F_{Cij} = \frac{F_{Oi} + F_{Dj}}{2} \quad \text{Equação 19}$$

Nesse caso, o fator de crescimento consiste em uma média dos fatores de crescimento associados à zona de origem e à zona de destino, respectivamente, sendo definido pelo fator de geração de viagem da zona i , dado por:

$$F_{Oi} = \frac{O_i}{o_i} \quad \text{Equação 20}$$

E pelo fator de atração de viagem da zona j :

$$F_{Dj} = \frac{D_j}{d_j} \quad \text{Equação 21}$$

Onde:

o_i = no de viagens com origem em i na iteração anterior; e

d_j = no de viagens com destino em j na iteração anterior.

A necessidade de se atender às restrições de conservação, positividade e consistência conduz o método a um processo iterativo, verificando-se na primeira iteração que:

$$\sum_{j=1}^n T_{ij} \neq O_i \quad e \quad \sum_{i=1}^n T_{ij} \neq D_j \quad \text{Equação 22}$$

Sendo os T_{ij} calculados pela Equação 22.

Em seguida, calculam-se novos valores para F_{cij} e T_{ij} . O processo converge quando F_{Oi} e F_{Dj} se aproximam da unidade. Em geral, admite-se erro em torno de 1%.

2.1.4.3 Modelo do fator de Detroit

O crescimento das viagens futuras entre as diversas zonas de tráfego é proporcional ao fator de geração de viagens da zona i e a relação entre o fator de atração de viagens da zona j e o fator de crescimento total. Tem-se:

$$T_{ij} = t_{ij} * Fc_{ij} \quad \text{Equação 23}$$

$$Fc_{ij} = F_{Oi} * \frac{F_{Dj}}{F_T} \quad \text{Equação 24}$$

$$F_T = \frac{T}{t} \quad \text{Equação 25}$$

$$F_{Oi} = \frac{O_i}{o_i} \quad \text{Equação 26}$$

$$F_{Dj} = \frac{D_j}{d_j} \quad \text{Equação 27}$$

Este método também leva a um processo iterativo.

2.1.4.4 Modelo de fratar

O modelo de fratar é bastante utilizado para estimar viagens interurbanas em estudos regionais ou em estudos urbanos que possuam muitas viagens com origem externa (ORTÚZAR; WILLUMSEN, 2011). Nesse caso, o número de viagens futuras de i para j é dado por:

$$T_{ij} = t_{ij} * Fc_{ij} \quad \text{Equação 28}$$

$$Fc_{ij} = F_{Oi} * F_{Dj} \quad \text{Equação 29}$$

$$F_{Dj} = \frac{D_j}{d_j} \quad \text{Equação 30}$$

$$F_{Oi} = \frac{O_i}{\sum_{j=1}^n t_{ij} * F_{Dj}} \quad \text{Equação 31}$$

Esse método também leva a um processo iterativo. Observa-se que a principal vantagem dos métodos de fator de crescimento é que estes são de fácil entendimento e fazem uso direto da matriz de viagens observada no ano base e das projeções das viagens futuras produzidas e atraídas pelas zonas de tráfego.

Sua principal limitação é o fato de não levarem em consideração mudanças nos custos de transporte devido a intervenções no sistema. Em geral, são usados para planejamento de curto prazo. Além disso, seu uso torna-se limitado para a análise de opções envolvendo novos modos de transporte, novas zonas de tráfego etc.

2.1.4.5 Modelos sintéticos

Os modelos sintéticos apresentam algumas vantagens em relação aos métodos de fator de crescimento. Eles são sensíveis a alterações na rede viária. Por exemplo, uma nova ligação entre i e j pode fazer surgir ou incrementar o tráfego entre essas zonas.

São mais sensíveis ao desenvolvimento da área de estudo e podem ser utilizados em projeções de maior prazo. Entretanto, tais modelos requerem calibração e uma análise mais apurada de seu funcionamento.

Entre os modelos sintéticos, destaca-se o modelo gravitacional, que é amplamente difundido e utilizado em todo o mundo. Ele se baseia no conceito de gravitação universal formulado por Isaac Newton, segundo o qual a atração entre dois corpos é proporcional às suas massas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre eles (ORTÚZAR; WILLUMSEN, 2011). Analogamente, pode-se dizer que a atração entre duas zonas é diretamente proporcional ao tamanho destas (população, renda, número de viagens etc.), e inversamente proporcional a algum fator de atrito que as separe, como: distância, tempo de viagem, condições de acessibilidade etc. (ORTÚZAR; WILLUMSEN, 2011).

As viagens entre dois pontos crescem à medida que aumenta a atração para tal viagem, mas decrescem à medida que aumenta a resistência a esta viagem.

A equação básica do modelo gravitacional, criada a partir da lei de atração dos corpos de Newton, é dada por:

$$T_{ij} = \frac{f(M_i M_j)}{f(I_{ij})} \quad \text{Equação 32}$$

Onde:

M_i e M_j = as dimensões das zonas i e j ; e
 I_{ij} = impedância que surge entre i e j .

2.1.4.6 Modelo gravitacional do Bureau of Public Road (BPR)

A equação desse modelo é basicamente dada por (BRANSTON, 1976 apud ORTÚZAR; WILLUMSEN, 2011):

$$T_{ij} = C * O_i * D_j * F_{ij} * K_{ij} \quad \text{Equação 33}$$

Onde F_{ij} é o fator de fricção ou de impedância entre a zona i e a zona j . É determinado por meio da calibração do expoente a , e é dado pela equação:

$$F_{ij} = \frac{1}{(\text{tempo}_{ij})^a} \quad \text{Equação 34}$$

K_{ij} é um fator de ajustamento que considera a influência de fatores socioeconômicos no fluxo entre i e j . Para a sua determinação, são utilizados vários métodos empíricos. O método proposto pelo BPR leva em consideração a população (P) da área de estudo.

Se $P < 100.000$ habitantes – $K_{ij} = 1$;

Se $P > 100.000$ hab.

Então:

$$K_{ij} = r_{ij} \left(\frac{1-x_i}{1-r_{ij}*x_i} \right) \quad \text{Equação 35}$$

Onde r_{ij} é a razão entre as viagens existentes obtidas da pesquisa OD e as viagens previstas no modelo gravitacional, e x_i é razão entre as viagens obtidas da pesquisa OD e o total das viagens que saem da zona i obtidas na mesma pesquisa.

$$r_{ij} = \frac{t_{ij}(\text{observado})}{t_{ij}(\text{calculado})} \quad \text{Equação 36}$$

$$x_{ij} = \frac{t_{ij}(\text{observado})}{o_i(\text{observado})} \quad \text{Equação 37}$$

A versão mais difundida do modelo gravitacional é a que respeita as restrições de origem, isto é:

$$O_i = \sum_{j=1}^n T_{ij} \quad \text{Equação 38}$$

Nesse caso, a soma dos elementos das linhas da matriz OD obtida dá o total de viagens futuras produzidas nas zonas de tráfego.

Figura 16 - Matriz OD

i \ j	1	2	3	...	n		$\sum O_i$
1	t_{11}	t_{12}	t_{13}	...	t_{1n}		O_1
2	t_{21}	t_{22}	t_{23}	...	t_{2n}		O_2
3	t_{31}	t_{32}	t_{33}	...	t_{3n}		O_3
...	...	...	...	t_{ij}	...		...
n	t_{n1}	t_{n2}	t_{n3}	...	t_{nn}		O_n

Fonte: o autor (2015).

No modelo gravitacional do BPR, tem-se que:

$$\begin{aligned}
 O_i &= \sum_{j=1}^n T_{ij} \\
 \sum_{j=1}^n T_{ij} &= \sum_{j=1}^n C * O_i * D_j * F_{ij} * K_{ij} \\
 O_i &= C * O_i \sum_{j=1}^n D_j * F_{ij} * K_{ij} \\
 C &= \frac{1}{\sum_{j=1}^n D_j * F_{ij} * K_{ij}}
 \end{aligned} \quad \text{Equação 39}$$

Logo, a fórmula final do modelo BPR corresponde a:

$$T_{ij} = \frac{O_i * D_j * F_{ij} * K_{ij}}{\sum_{j=1}^n D_j * F_{ij} * K_{ij}} \quad \text{Equação 40}$$

A calibração do modelo envolve a determinação de um único parâmetro (parâmetro α) e é feita, em geral, por um procedimento iterativo.

A versão duplamente restrita também é bastante difundida. Sua formulação matemática é dada por:

$$\begin{aligned} T_{ij} &= A_i * O_i * B_j * D_j * e^{-\alpha.Cij} \\ A_i &= \left[\sum_j B_j * D_j * e^{-\alpha.Cij} \right]^{-1} \\ B_j &= \left[\sum_i A_i * O_i * e^{-\alpha.Cij} \right]^{-1} \end{aligned} \quad \text{Equação 41}$$

Os fatores A_i e B_j são fatores de balanceamento e garantem as restrições de consistência de fluxos.

2.1.5 Divisão modal

A divisão ou repartição modal pode ser definida como a divisão proporcional do total de viagens realizadas pelas pessoas entre os diferentes modos de viagem. Pode-se expressá-la, numericamente, como uma fração, razão ou percentagem do número total de viagens. A análise de divisão modal visa identificar as frações de viagens entre um par de zonas ij quaisquer, desagregados pelos diferentes modos ou meios de transportes alternativos (ORTÚZAR; WILLUMSEN, 2011).

Em geral, a divisão modal se dá após a fase de distribuição de viagens. No entanto, sua posição nos estudos para elaboração de planos de transportes pode variar, podendo ser feita:

- junto com a etapa de geração de viagens, quando o número de viagens realizadas por um determinado modo está relacionado às características dos habitantes da zona de origem;
- entre as etapas de geração e distribuição de viagens. Uma vez obtidas as viagens atraídas e produzidas pelas zonas, elas são separadas pelos modos de transportes disponíveis para, em seguida, serem processadas na etapa de distribuição;

- junto com etapa de distribuição de viagens. Neste caso, relaciona-se a distribuição aos modos de transportes disponíveis; e
- entre as etapas de distribuição e alocação de viagens. Como na distribuição de viagens, os tempos, distâncias ou custos podem ser estimados, a divisão modal é feita com base nestas variáveis.

2.1.5.1 Fatores que influenciam a escolha do modo de transporte

Os fatores que influenciam a escolha do usuário pelo modo de transporte podem ser classificados em três grandes grupos:

- características do usuário;
- características da viagem;
- características do sistema de transporte.

Em relação ao usuário, os principais fatores são:

- disponibilidade ou propriedade de automóvel;
- posse de carteira de motorista;
- estrutura domiciliar (jovem casal, casal com crianças, aposentados, solteiros etc.);
- ocupação profissional.

Em relação às viagens, pode-se dizer que a escolha da modalidade de transporte é fortemente influenciada por:

- propósito da viagem (por exemplo, é mais fácil se deslocar para o trabalho usando transporte público do que para uma ida ao supermercado);
- distância; e
- horário.

Em relação ao sistema de transportes, a escolha da modalidade de transporte é influenciada por fatores quantitativos, tais como:

- tempo de viagem relativo dos diferentes modos, incluindo tempo de espera, tempo de caminhada e tempo no interior do veículo;
- custos relativos (tarifa, combustível etc.); e
- disponibilidade e custo de estacionamento.

Fatores qualitativos relacionados ao sistema de transporte também exercem influência na decisão do usuário, podendo ser citados:

- conforto e conveniência;
- confiabilidade e regularidade; e
- proteção e segurança.

É importante ressaltar que a inclusão dos fatores listados nos modelos de escolha da modalidade de transporte é condicionada à quantidade e qualidade das informações disponíveis para calibração e adequabilidade dos dados para efeito de obter projeções futuras consistentes.

2.1.5.2 Principais modelos de divisão modal

Têm-se dois tipos de modelos:

- determinísticos e
- probabilísticos.

Nos modelos determinísticos, a proporção de viagem dos diferentes modos é obtida por meio de técnicas quantitativas, como as utilizadas nos modelos de geração de viagens (regressão linear ou classificação cruzada, por exemplo).

Os modelos de geração direta, que estão incorporados na etapa de geração de viagem, são exemplos de modelos determinísticos. Dentre os primeiros, cita-se, especificamente, o modelo de regressão, cuja equação é dada por:

$$O_{i(\hat{on})} = a + b * P_i + c * NA_i \quad \text{Equação 42}$$

Onde:

$O_{i(\hat{on})}$ = número de viagens por ônibus com origem em i;

P_i = população da zona i;

NA_i = número de automóveis em i; e

a , b , c - constantes determinadas por regressão

Esses modelos têm como vantagem a simplicidade, porém são pouco sensíveis às alterações nos sistemas de transportes. Eles são mais indicados para áreas menores ou onde não haja grande competitividade entre as modalidades ou meios de transportes (ex.: os usuários dos automóveis e dos ônibus são cativos).

Um exemplo do segundo tipo de modelo (modelo probabilístico) é o modelo de atratividade, definido por:

$$P_{mi} = \frac{A_{mi}}{\sum_{x=1}^n A_{mx}} \quad \text{Equação 43}$$

Onde:

P_{mi} = probabilidade de um usuário escolher o modo de transporte m_i ;

A_{mi} = atratividade do modo de transporte m_i ;

A_{mx} = atratividade dos demais modos de transporte; e

n = número de alternativas modais de transportes.

A atratividade A_{mi} é definida como:

$$A_{mi} = f(u) * K \quad \text{Equação 44}$$

Onde:

$f(u)$ = função de impedância, representada por custo, tempo ou outro fator de resistência à viagem pelo modo de transporte i ; e

K = coeficiente ajustado em função dos padrões de nível de serviço do modo de transporte i (conforto, segurança, confiabilidade etc.).

Das pesquisas de OD, tem-se:

$$O_{i(1998)} = 1000 \text{ viagens/dia}$$

Sendo: 60% - automóveis

40% - ônibus.

Sabendo-se, dos modelos de geração, que:

$$O_{i(2010)} = 2000 \text{ viagens/dia}$$

Tem-se:

$$O_{i(2010)\text{automóveis}} = 2000 \times 0,6 = 1200 \text{ viagens/dia}$$

$$O_{i(2010)\text{ônibus}} = 2000 \times 0,4 = 800 \text{ viagens/dia}$$

2.1.6 Modelos de alocação de viagens

A etapa de alocação de viagens consiste em alocar os fluxos de uma matriz OD em uma rede viária, determinando-se o volume de tráfego em cada trecho de via.

Além da determinação das linhas de escoamento de tráfego, os métodos de alocação são utilizados para:

- assinalar as deficiências que atualmente existem no sistema viário, principalmente a falta de capacidade para acomodar o tráfego;
- analisar o efeito de melhoramentos a serem executados na rede rodoviária;

- escalonar as prioridades de execução de obras no sistema viário;
- determinar volumes horários de projeto; e
- determinar o volume de tráfego que será desviado para a nova estrada.

Os processos de alocação se baseiam no fato de que a escolha de determinado percurso por parte dos usuários do sistema de transporte estará condicionada a uma série de elementos subjetivos, além dos seguintes fatores:

- distância dos percursos;
- tempo de viagem;
- existência ou inexistência de pedágios;
- limitações quanto ao peso, altura ou largura dos veículos;
- custo de viagem;
- composição do tráfego; e
- existência ou inexistência de facilidades ao longo do trajeto (postos de serviço, oficinas, hotéis etc.).

A maioria dos processos de alocação é baseada em economia de custo de viagem, redução de tempo ocupado nos deslocamentos ou distâncias dos percursos. A alocação é feita, basicamente, da seguinte forma:

- definição do critério de seleção de rota do motorista (exemplo: rota que propicie o menor tempo de viagem);
- construção das árvores da rede viária; e
- carregamento das árvores.

A construção das árvores da rede viária consiste em:

- definir os possíveis caminhos entre cada par o/d e os respectivos arcos que os compõe;
- calcular a impedância de cada caminho; e
- ordenar os caminhos de acordo com a impedância e selecionar os de interesse, conforme o critério de seleção de rota do motorista.

A seguir, são apresentados alguns dos principais métodos de alocação.

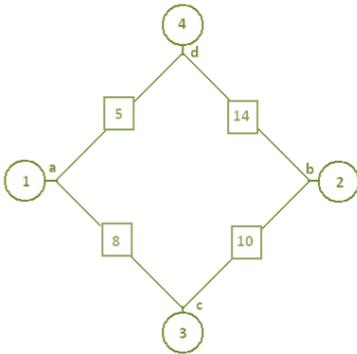
2.1.6.1 Alocação Tudo-ou-Nada

Segundo Ortúzar e Willumsem (2011), esse é o método mais simples de alocação. Consiste em alocar todas as viagens no caminho de menor impedância. A impedância pode ser medida pelo custo, tempo,

custo generalizado, distância, entre outros. O exemplo a seguir ilustra este procedimento.

A Figura 17 traz um exemplo de rede viária para a qual serão determinados os caminhos de menor impedância e a alocação do fluxo na rede.

Figura 17 - Rede viária



Fonte: o autor (2015).

A escolha dos caminhos de menor impedância consiste em determinar os caminhos de menor custo entre as diversas zonas de tráfego. A Tabela 2 mostra o cálculo dos caminhos e a impedância da rede viária exposta na figura anterior.

Tabela 2 - Determinação dos caminhos e da impedância

Origem	Destino	Identificador	Links	Custo
1	2	C1	a-d; d-b	19
		C2	a-c;c-b	18
1	3	C3	a-c	8
		C4	a-d;d-b;b-c	29
1	4	C5	a-d	5
		C6	a-c;c-b;b-d	32
2	3	C7	b-c	10
		C8	b-d;d-a;a-c	27
2	4	C9	b-d	14
		C10	b-c;c-a;a-d	23
3	4	C11	c-a;c-d	13
		C12	c-b;b-d	24

Fonte: o autor (2015).

O carregamento das árvores consiste em alocar os fluxos junto às rotas selecionadas. Dada a matriz OD que segue (Figura 18), calcular o fluxo nos arcos.

Figura 18 - Matriz OD para cálculo do fluxo nos arcos

O/D	1	2	3	4
1	-	51	72	29
2	49	-	82	24
3	68	78	-	46
4	31	26	44	-

Fonte: o autor (2015).

O fluxo nos diferentes arcos é dado por:

$$F_{(a-d)} = 29 + 31 + 46 + 44 = 150 \text{ viagens/dia}$$

$$F_{(a-c)} = 51 + 49 + 72 + 68 + 46 + 44 \\ = 330 \text{ viagens/dia}$$

$$F_{(d-b)} = 24 + 26 = 50 \text{ viagens/dia}$$

$$F_{(c-b)} = 51 + 49 + 82 + 78 = 260 \text{ viagens/dia}$$

2.1.6.2 Modelo tudo-ou-nada com restrição de capacidade

Este modelo também admite que todas as viagens entre duas zonas são feitas pelo caminho de menor impedância. Entretanto, considera que as impedâncias variam em função da relação volume de tráfego/capacidade da via.

É, portanto, um processo iterativo no qual todas as impedâncias são recalculadas sistematicamente após cada carregamento até que não haja oscilações significativas nos volumes de tráfego nos arcos.

A relação entre o fluxo e a impedância em um *link* da rede é denominada função capacidade do *link*. Uma expressão matemática para esta função, desenvolvida pelo BPR (Bureau of Public Roads), é dada por:

$$w = \bar{w} \left[1 + 0,15 \left(\frac{q}{q_{\max}} \right)^4 \right] \quad \text{Equação 45}$$

Onde:

w = impedância de um dado *link* com fluxo q ;
 \bar{w} = impedância com fluxo livre no *link*; e
 $q_{máx}$ = capacidade do *link*.

2.1.6.3 Alocação por múltiplos caminhos

Esse tipo de alocação considera que parte das viagens entre duas zonas é feita pelo caminho mínimo e parte por outros caminhos.

Aloca-se o tráfego entre diversos caminhos de acordo com a regra aplicada no estudo. Um dos modelos existente é dado pela função de proporção inversa, por meio da qual se computa a fração de viagens a serem alocadas para cada uma das rotas interzonais. Tem-se:

$$p(r) = \frac{w_{ijr}^{-1}}{\sum_x w_{ijr}^{-1}} \quad \text{Equação 46}$$

Onde:

w_{ijr} = impedância da rota r de i para j ; e

x = representa as diversas rotas de i para j .

Além dos modelos aqui expostos, existem outros mais complexos, de equilíbrio em redes de transportes, que são usados principalmente no contexto urbano, quando há congestionamento. Esses modelos são baseados nos princípios de Wardrop e sua formulação é feita através de problemas de otimização matemática.

2.1.6.4 Teoria dos grafos

Um grafo é, basicamente, um par ordenado, formado por um conjunto finito de elementos (vértices) e um conjunto de elementos chamados arestas (curvas) – e cada aresta é um par não ordenado de vértices distintos (REZENDE, 2014). Na matemática, a teoria dos grafos estuda as relações entre esses elementos, ou seja, estuda objetos combinatórios – os grafos. Segundo Feofiloff, Kohayakawa e Wakabayashi (2011, p. 8), “a palavra “grafo” é um neologismo derivado da palavra *graph* em inglês [...]”.

A Teoria dos Grafos teve origem em 1736, com o matemático Leonhard Euler, que tinha como objeto de estudo as pontes de Königsberg, na Rússia, e o seguinte problema: atravessar as sete pontes sem repetir nenhuma delas. Para tanto, Euler representou em retas os caminhos das pontes e em pontos as interseções – ou seja, foi gerado um

grafo. Silva (2013, p. 66) afirma que o matemático chegou à conclusão de que “[...] seria possível atravessar o caminho inteiro passando uma única vez em cada ponte se houvesse no máximo dois pontos de onde sairia um número ímpar de caminhos. [...] [esses pontos] seriam referentes ao início e fim do percurso [...]”.

De acordo com Feofiloff, Kohayakawa e Wakabayashi (2011), a teoria dos grafos é bastante útil para a resolução de questões em várias áreas, como matemática, informática e engenharia, e muitos problemas de tal teoria têm motivação algorítmica. Esse uso teria começado a partir das pesquisas de Kirchhoff acerca de circuitos elétricos, em 1847, e seguido com os trabalhos de Morgan, em 1852; Hamilton, em 1859; e Jordan, em 1869. Pós-Segunda Guerra Mundial, o interesse era crescente pela teoria dos grafos e pesquisas envolvendo algoritmos com grafos foram realizados, entre os quais se pode citar como bastante relevantes o *Depth First Search* (DFS) e o *Breadth First Search* (BFS). Algoritmos como o Algoritmo de Dijkstra (a ser discutido no próximo tópico), o Algoritmo de Bellman-Ford, Algoritmo de Prim e o Algoritmo Ford-Fulkerson tiveram, como referência, os modelos DFS e BFS (SILVA, 2013).

Ambos serviram de base para o desenvolvimento de novos algoritmos em grafos encontrados na literatura (CORMEN et al., 2001). O algoritmo DFS, também denominado como método de Busca em Profundidade, tem por objetivo explorar os nós de um grafo. [...] No algoritmo BFS, também denominado como método de Busca em Largura, a busca inicia em um vértice raiz e explora todos os vértices vizinhos. Para cada um desses vértices mais próximos, são explorados os seus vértices vizinhos inexplorados e assim por diante, até que se encontre o alvo da busca (SILVA, 2013, p. 67).

Um grafo é formado por vértices e arcos, e cada arco associa-se a dois vértices: a ponta inicial e a ponta final do arco. Dois arcos são paralelos se ambos possuem uma mesma ponta inicial e final e são antiparalelos se a ponta inicial de um deles é a ponta final do outro. Já se um arco tem uma ponta inicial que coincide com a sua ponta final, esse arco é um laço.

Há variados tipos de grafos, entre os quais se cita os direcionados, os não direcionados e os valorados, que são relevantes para o presente

estudo. O primeiro tipo é um grafo com arestas com direção associada; o segundo tipo é um grafo sem laços e sem arestas paralelas; por fim, o terceiro tipo conta com pesos associados às arestas ou aos vértices (SILVA, 2013).

É por meio de um grafo que se realiza um processo de roteirização. O problema do caixeiro viajante (*Traveling Salesman Problem* ou TSP) foi o primeiro problema de roteirização a ser estudado e consiste em encontrar o roteiro ou a sequência de cidades a serem visitadas por um caixeiro viajante minimizando a distância total percorrida e assegurando que cada cidade seja visitada apenas uma vez.

Logo, os algoritmos de roteirização são naturalmente aplicáveis ao planejamento de transportes à medida que possibilitam calcular o menor caminho entre uma Origem e um Destino dentro de uma rede (ou malha viária, em logística), minimizando o custo de travessia de um grafo entre dois nós (ou vértices), o qual é dado pela soma dos pesos de cada aresta percorrida.

Os problemas de roteirização apresentam variações, mas é possível fazer sua redução conforme a Origem e o Destino do trajeto e o tipo de modelagem. Os problemas de roteirização podem estar relacionados a:

a) nós: nesse tipo de problema, os locais de atendimento em uma malha viária são representados como pontos específicos; e

b) arcos: nesse tipo de problema, os locais de atendimento em uma malha viária são representados, continuamente, ao longo dos segmentos da via.

Os algoritmos especializados em solucionar o problema do menor caminho são, eventualmente, chamados de algoritmos de busca de caminhos. Entre eles, Ortúzar e Willumsen (2011) apontam o algoritmo de Moore (1957) e o de Dijkstra (1959) como os dois algoritmos básicos geralmente utilizados para encontrar o menor (mais barato) caminho em uma rede viária. Desses dois, o algoritmo de Dijkstra é o que mais se destaca, principalmente para redes mais abrangentes, embora, como pontuam os autores, seja mais difícil de ser programado que o de Moore. O algoritmo de Dijkstra foi o escolhido para ser utilizado nesta pesquisa e será discutido no tópico a seguir.

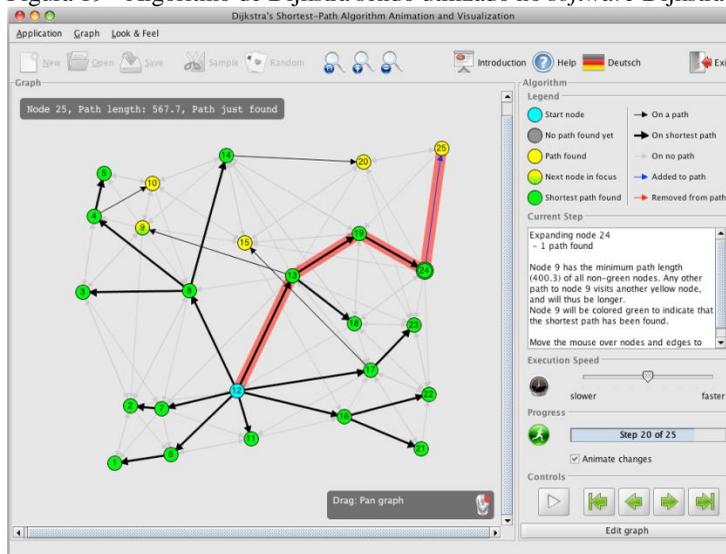
2.1.6.5 Algoritmo de Dijkstra

Edsger Dijkstra foi um dos primeiros pesquisadores a tratar do problema de roteirização e, em 1959, apresentou um método para encontrar a menor distância entre dois pontos específicos em uma rede.

Segundo o seu método, o algoritmo encontra o caminho mínimo entre nós de uma rede e assegura que cada *link* seja analisado apenas uma vez.

Tendo-se um nó como Origem, por meio de uma estimativa inicial, o algoritmo encontra o caminho mínimo desse nó para todos os demais nós da rede. Ao longo do processo, essa estimativa vai ganhando mais precisão. Assim, para que um nó seja considerado fechado, já deverá ter sido obtido um caminho mínimo que parta do nó primário até ele (SILVA; SANCHES, 2009). A Figura 19 ilustra o algoritmo de Dijkstra no *software* desenvolvido por Schmidt (2008), que permite a visualização interativa do algoritmo para iniciantes.

Figura 19 - Algoritmo de Dijkstra sendo utilizado no *software* DijkstraVis



Fonte: uweschmidt.org (2015).

Em redes de maior abrangência, a pesquisa que utiliza o algoritmo de Dijkstra pode ser visualizada em um SIG, como é o caso deste estudo.

2.2 SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA PARA TRANSPORTES

A rigor, Sistemas de Informações Geográficas (SIG) são sistemas de gerenciamento de bases de dados. Logo, dados são elementos centrais para SIGs. Sistemas de Informação para transporte

(GIS-T ou SIG-T), portanto, é uma aplicação de SIG voltada especificamente para a coleta, o armazenamento, a análise e a comunicação de sistemas de transporte e regiões geográficas que afetam ou que são afetadas por esses sistemas (MILLER; SHAW, 2001).

A área de Transportes tem, na rede de transportes, o seu principal objeto de estudo. Dentro dessa área, os SIG-T podem atuar em planejamento e em operações do transporte público e planejamento de infraestrutura, análise e controle de tráfego, avaliação de impactos ambientais, redução de riscos, configuração e gerenciamento de sistemas logísticos complexos, planejamento e gerenciamento de infraestrutura e análise de segurança viária (MILLER, SHAW, 2001).

No item a seguir, elencam-se alguns dos tipos de ferramenta SIG-T mais utilizados na atualidade.

2.2.1 Tipos de ferramentas SIG para transporte

Os SIG-T auxiliam na realização de avaliações de rotas e custos. Os cálculos são baseados em informações geométricas e alfanuméricas que descrevem as características de malhas viárias, as quais podem ser de diferentes modais. Para que os *softwares* possam gerar resultados confiáveis, é necessário que os dados estejam sempre atualizados.

Todos os sistemas de *software* SIG incluem um modelo de dados central que é constituído por um ou mais dos modelos de dados geográficos presentes no Quadro 1 (associados às suas respectivas áreas de aplicação) (LONGLEY et al., 2013).

Quadro 1 - Modelos de dados e respectivos exemplos de aplicação

Modelos de dados	Exemplo de aplicação
Desenho auxiliado por computador (CAD)	Desenho automatizado de projetos de engenharia
Gráfico (não topológico)	Mapeamento simples e artes gráficas
Imagem	Processamento de imagem e análise matricial simples
Matricial/grade	Análise e modelagem espacial, especialmente em aplicações de recursos naturais e ambientais
Vetorial/topológico georrelacional	Muitas operações com feições geométricas em cartografia, análises e modelagem socioeconômicas e de recursos naturais
Rede	Análise de redes em transportes e infraestruturas

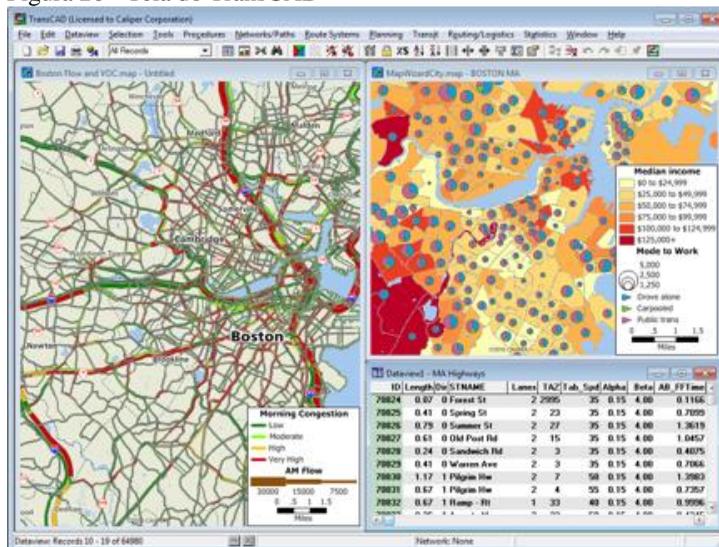
Modelos de dados	Exemplo de aplicação
Rede Triangular Irregular (TIN)	Visualização, análises e modelagem de superfícies do terreno
Objeto	Muitas operações em todos os tipos de entidades (matricial/vetorial/TIN etc.) em todos os tipos de aplicações

Fonte: Longley et al. (2013, p. 210).

2.2.1.1 Transportation Planning Software (TransCAD)

TransCAD é um SIG que trabalha com desenho automatizado de projetos de engenharia. Foi elaborado, especificamente, para ser usado pelos profissionais da área de transportes para armazenar, exibir, gerenciar e analisar dados de transporte (TransCAD, 2016). A Figura 20 mostra uma tela do sistema.

Figura 20 - Tela do TransCAD

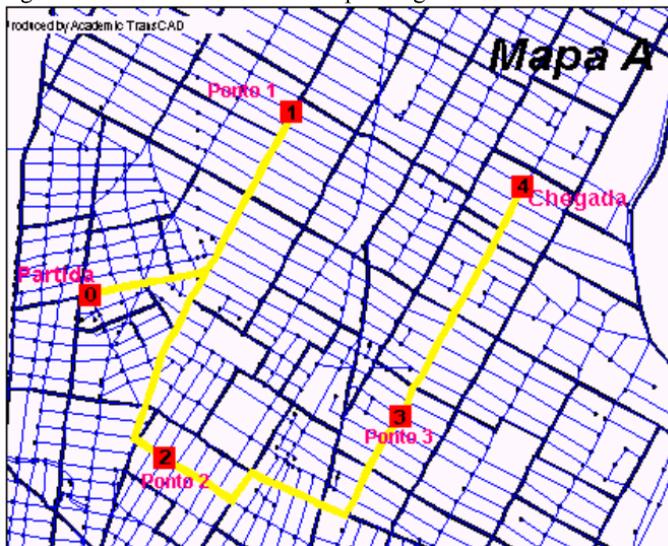


Fonte: TransCAD (2016).

Segundo Peixoto (2002), o TransCAD consegue encontrar o menor (ou o melhor) caminho na movimentação de um ponto até outro em uma rede – processo que denomina-se *Arc Routing*. O algoritmo utilizado pelo TransCAD no cálculo do menor caminho pressupõe que a ordem na qual as localidades devem ser visitadas é dada. O exemplo dado por Peixoto (2002, p. 12) é o da imagem mostrada na Figura 21, a

partir da qual “deseja-se calcular o menor percurso a ser percorrido, partindo do ponto PARTIDA, passando pelos PONTOS 1, 2 e 3, e chegando ao ponto CHEGADA”.

Figura 21 - Resultado encontrado pelo algoritmo do “Menor Caminho”



Fonte: Peixoto (2002).

Em seu estudo, Carmo, Gomes e Barros Neto (2003) utilizaram a clássica heurística de economias desenvolvida por Clark e Wright (1964) no TransCAD 3.0. Segundo os autores, “esse algoritmo constrói as viagens pela combinação de paradas nas rotas com base no critério de economia e inserção” (p. 818). Conforme acrescentam os autores, quando as restrições de janelas de tempo foram utilizadas, durante o roteamento, foi utilizada a heurística de Solomon (1986), que se trata de uma extensão do método de economia de Clark e Wright (1964), que não viola a restrição da janela de tempo.

2.2.1.2 ArcGIS

O ArcGIS para *desktop* é um conjunto de *softwares* composto por: ArcView; ArcEditor; ArcInfo; e ArcReader. Conforme explica Hillier (2011 apud PEIXOTO, 2013), o ArcGIS apresenta funções para análises espaciais; 3D; geoestatísticas; as rotas mais eficientes, utilizando o sistema de transportes da área de estudo; inserção de

informações sobre o fluxo de tráfego e tempo de viagem; e visualização de mapas. A Figura 22 mostra uma conformação de rota no mapa e na janela Network Analyst. O exemplo é retirado de Motamed (2012), que utiliza o algoritmo de Dijkstra no ArcGIS para encontrar o menor caminho de um ponto a outro na rede de transportes de São Francisco, CA.

Figura 22 - Exemplo de caminho mais rápido para fazer uma série de paradas em uma rede de transportes de São Francisco, CA

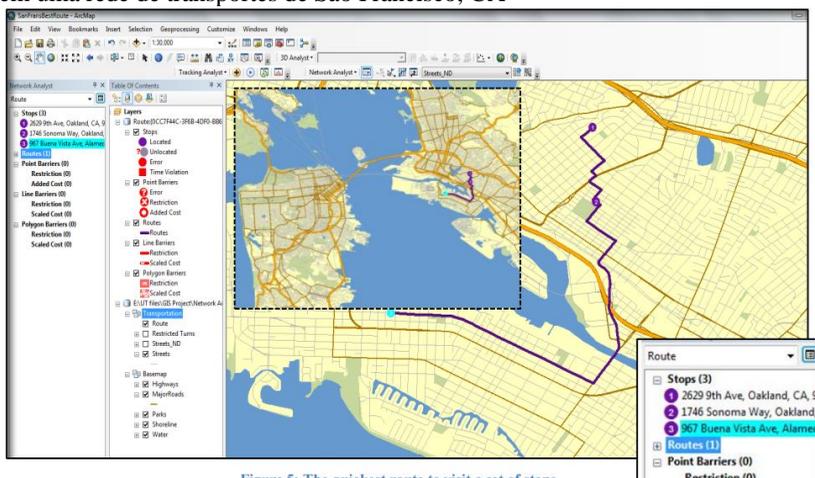


Figure 5: The quickest route to visit a set of stops

Fonte: Motamed (2012).

2.2.1.3 GRASS

Geographic Resources Analysis Support System (GRASS) é um sistema *open source* de código fonte aberto, que suporta os formatos vetorial e matricial. O sistema apresenta os seguintes recursos (REIS, 2005 apud PEIXOTO, 2013, p. 73):

Tratamento sobre arquivos matriciais (recursos para vetorização, análises de correlação/covariância, reamostragem, ajuste das tabelas de cores, geração de superfícies por intermédio de linhas vetoriais);

Análises 3D sobre arquivos matriciais (importação de dados 3D – ASCII formato xyz, interpolação e visualização;

Análises vetoriais (geração de contornos a partir de superfícies matriciais, ferramenta de digitalização);

Análises de malhas de pontos (triangulação – Delaunay, interpolação para geração de superfície, análises geodésicas);

Processamento de imagens (composição de cores, ajustes de histograma, ortorectificação, reamostragem, conversão de cores: IHS/RGB);

Análises sobre o MDT (geração de contornos, análises de caminhos/custos);

Visualização (análises sobre superfícies 3D, camadas vetoriais, camadas matriciais) e;

Criação de mapas (postscript, html).

Apesar da amplitude de recursos apresentada, o GRASS não tem uma interface amigável, o que dificulta sua utilização.

No estudo de Ehlschlaeger (1989), o algoritmo de busca A^T foi utilizado para desenvolver um modelo hidrológico a partir de dados digitais de elevação. Silva, Leite e Gadelha (2010) utilizaram esse mesmo algoritmo com dados SRTM aplicado ao GRASS, tendo a Bacia Hidrográfica do Rio Mamanguape como área de estudo. O algoritmo A^T é “conhecido como de “mínimo custo” [ou caminho mínimo], o qual organiza os dados de elevação e avalia a rede hidrológica fazendo a busca pela menor trajetória entre um ponto de origem e de destino, avaliando a trajetória através das células, segundo a direção do fluxo” (SILVA; LEITE; GADELHA, 2010).

2.2.2 Buffering

Segundo Longley et al. (2013, p. 210), “uma coleção de entidades de mesmo tipo geométrico (dimensionalidade) é referida como uma classe ou camada”, podendo ser pontos, linhas, polígonos, por exemplo. Porém, camadas de tipos geométricos diferentes podem ser combinadas no que se denominam camadas agrupadas. O termo camada, conforme mencionam os autores, também é muito utilizado em SIG para se referir a um conjunto de dados específico.

O *buffer* ou a camada de vizinhança é uma operação SIG de uma só camada que trata de definir o crescimento de uma zona no entorno de uma entidade geográfica específica. Segundo da Silva (2006), essas áreas de entorno são os objetos de análise cuja distância é definida pelo analista, que cria uma nova entidade poligonal. Os *buffers* podem ser realizados para diferentes tipos geométricos. No que concerne a entidades lineares, eles podem ser feitos apenas para um dos lados destas (esquerdo ou direito), enquanto que, nos *buffers* areais, é possível realizar o *buffer* para o exterior ou interior do elemento.

Essa é uma ferramenta bastante aplicada em estudos de transportes, conforme afirma da Silva (2006), pois permite definir as áreas que deverão ser utilizadas para a implantação de novos terminais de ônibus, por exemplo, por meio da sobreposição da informação à que se refere a carta de uso dos solos ou da informação relativa à informação cadastral.

2.3 MÉTODOS EXISTENTES DE CÁLCULO DE DEMANDA POR PARADA DE CAMINHÕES

Estacionamentos têm papel fundamental na atividade de varejo e, conseqüentemente, influenciam o desenvolvimento econômico. Estudos dedicados à provisão e adequação de estacionamentos para automóveis em ambientes urbanos são frequentes, porém, ainda tem sido pouca a atenção dada ao assunto quando trata-se de veículos de carga. Apesar de os caminhões e a indústria de caminhões terem impactado na conformação urbana e suburbana desde 1900 nos Estados Unidos, apenas em 1998, o Congresso dedicou atenção à disponibilidade de áreas de estacionamento para veículos de carga ao longo das rodovias estaduais e interestaduais. Tal atenção deu-se na forma da promulgação A da TEA-21, que, em sua seção 4027, solicitou à Federal Highway Administration (FHWA) que analisasse essa questão. Após esse marco, inúmeros estudos foram realizados visando determinar se há deficiência na oferta de áreas de estacionamento ou descanso e quais as melhores formas de resolver o problema.

No Brasil, a expansão rodoviária data do início do século XX e foi materializada na inauguração da Rio-Petrópolis em 1928, a primeira rodovia asfaltada do país, no governo do presidente Washington Luís. No entanto, a indústria de caminhões passou a existir apenas três décadas depois, no governo de Juscelino Kubitschek, juntamente com o surgimento da indústria automobilística. De lá para cá, a indústria de caminhões tem impulsionado a economia brasileira, alcançando, no

começo do século XXI, 11% de representatividade do PIB industrial, o que se traduz em faturamento de, aproximadamente, 1,8 bilhões de dólares (ALICEWEB, 2015; SISCOMEX, 2015).

Embora seja grande a participação da indústria de caminhões no PIB industrial, apenas em 2012, com a promulgação da Lei n. 12.619 e a regulamentação da profissão de motorista, o Brasil reconheceu, formalmente, a importância e a necessidade de estacionamentos e áreas de descanso para motoristas do TRC. Ainda assim, os estudos que tratam do problema de estacionamento para caminhões, como o de Brasileiro, Ascenção e Rosin (2015), têm dedicado-se, em sua maioria, aos problemas causados em centros urbanos, como obstrução do trânsito por operações não planejadas de carga e descarga.

Esta seção apresenta alguns dos modelos criados para calcular a demanda por pontos de parada de caminhões. O cálculo da demanda pode estar sujeito aos seguintes fatores:

- parâmetros legais para repouso/parada;
- sazonalidades;
- volume total de veículos e distribuição do fluxo ao longo do dia;
- origem e destino dos deslocamentos que geram tempos de viagens diferentes;
- preferências pessoais; e
- serviços ofertados nos pontos de parada.

Ao final desta seção, apresenta-se o modelo proposto para o cálculo da demanda de vagas ao longo de um segmento de rodovia.

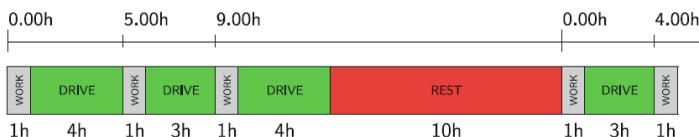
2.3.1 Método de Goel (2012)

A pesquisa de Goel (2012) identifica as restrições comuns impostas pelas regulações no mundo inteiro e apresenta uma formulação de programação inteira-mista para uma variável do *truck driver scheduling problem* (TDSP), em que caminhoneiros podem apenas descansar nos locais do cliente e em áreas de descanso apropriadas. Além disso, busca encontrar escalas de trabalho praticáveis para caminhoneiros, com mínima duração. O modelo apresentado é bastante flexível e pode ser configurado para considerar diferentes conjuntos de regras impostos pelo governo. A efetividade do modelo foi demonstrada para exemplos como Estados Unidos e União Europeia.

Para estabelecer um modelo formal para o problema apresentado, considera-se uma sequência de n localidades que devem ser visitadas

por um motorista. A cada localidade $1 \leq i \leq n$, alguma parada feita pelo motorista em serviço de duração w_i deve ser feita. Essa parada em serviço deve começar por meio de uma entre múltiplas janelas de tempo. O número de janelas de tempo na localidade $1 \leq i \leq n$ é denotado por T_i . Para cada $1 \leq \tau \leq T_i$, a janela de tempo τ na localidade i deve ser denotada pelo intervalo $[t_{i,\tau}^{\min}, t_{i,\tau}^{\max}]$. O tempo de direção requerido para se deslocar da localidade i até a localidade $i + 1$ deve ser denotado por $d_{i,i+1}$. O horizonte de tempo deve ser denotado por t^{horizon} . O problema de mínima duração do motorista de caminhão é o problema que determina o cumprimento de uma escala de trabalho que se conforma à legislação em vigor (qualquer que seja ela) em que todas as atividades de trabalho começam com uma das janelas de tempo correspondentes e que tem a mínima duração. A Figura 23 ilustra a escala de trabalho proposta pelo modelo de Goel (2012).

Figura 23 - Escalas de trabalho

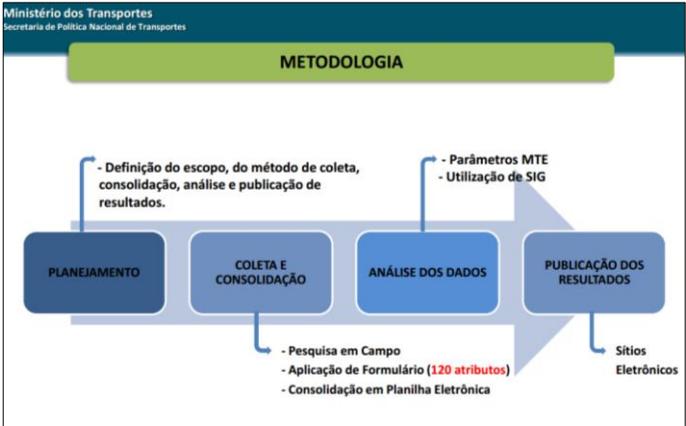


Fonte: Goel (2012, p. 293).

2.3.2 Método de pesquisa aplicado pelo Ministério dos Transportes (2015)

O Ministério dos Transportes realizou levantamento dos locais que já abrigam pontos de parada de descanso nas rodovias federais concessionadas e não concessionadas com o objetivo de cumprir com determinação da Lei n. 13.103/2015. A metodologia aplicada na pesquisa pode ser visualizada na Figura 24.

Figura 24 - Metodologia utilizada pelo Ministério dos Transportes para localizar PPD existentes



Fonte: Brasil (2015).

Conforme ilustrado na Figura 24, a coleta de dados incluiu pesquisa de campo e a aplicação de um formulário que pode ser preenchido *on-line* pelos estabelecimentos que querem ser reconhecidos oficialmente como PPD nos conformes da Lei, mostrado na Figura 25.

Figura 25 - Formulário eletrônico para requerer reconhecimento como PPD

POINTOS DE
PARADA E DESCANSO
MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES

Formulário Eletrônico de Solicitação de Reconhecimento de Ponto De Parada e Descanso (FRPPD)

1. Identificação do estabelecimento
2. Identificação do Proprietário
3. Localização
4. Estacionamento e pátio de manobra
5. Instalações sanitárias
6. Instalações sanitárias (cont.)
7. Ambiente para refeições
8. Dados complementares

* - Campos obrigatórios

Empreendimento	SITUADO EM RODOVIA FEDERAL
*CNPJ	83.476.911/0001-17
*Razão Social	RAZÃO SOCIAL
*Nome Fantasia	NOME FANTASIA
Inscrição estadual	Opcional
Inscrição municipal	Opcional
*Alvará de Funcionamento	Alvará de Funcionamento
Registro ANP	OPCIONAL
*Telefone(s)	Obs.: Apenas Postos de Combustíveis (00)0000-00000
*E-mail	estabelecimento@email.com.br
*Atividade principal	<input type="radio"/> POSTO DE COMBUSTÍVEL <input type="radio"/> HOTEL/ALCANTARADO/POUSADIA <input type="radio"/> RESTAURANTE <input type="radio"/> PONTO DE PARADA/APOIO <input type="radio"/> OUTRA

Fonte: Ministério dos Transportes (BRASIL, 2016).

2.3.3 Método de Lüttmerding (2009)

O método apresentado por Lüttmerding (2009) é focado no cálculo da demanda (D) que existe de paradas de caminhões de um segmento rodoviário, considerando os sentidos de tráfego.

Basicamente, a demanda é calculada trazendo, como resultado, a quantidade de vagas de estacionamento necessárias por quilômetro (km). A seguir, é mostrada a equação:

$$D = (VMD/DM) \times (TMP/24) \times (24/DPN) \times PP \times PLDV \quad \text{Equação 47}$$

Onde:

VMD: é o volume médio diário de tráfego;

DM: é a distância média percorrida no segmento, em km;

TMP: é o tempo médio da parada para repouso, em horas;

DPN: é a duração do período utilizado para descanso/repouso, em horas;

PP: é o percentual de caminhoneiros que param no intervalo de descanso; e

PLDV: é o percentual de veículos que necessitarão fazer a parada legal para descanso de longa duração. Leva em consideração o VMD para ser calculado.

Os parâmetros são definidos por meio de entrevistas, com exceção do VMD, obtido pela contagem de tráfego.

Na fórmula supracitada, é realizada a comparação da demanda calculada com a capacidade disponível por meio da análise do excesso ou da inexistência de vagas no segmento por sentido de tráfego.

O método não considera o tipo de instalação de estacionamento, as taxas pelo uso e/ou serviços existentes nos locais de estacionamento e nem a qualidade do serviço prestado.

2.3.4 Modelo do MnDOT/DOT (2008)

Este método foi desenvolvido pelo Departamento de Transportes do Estado de Minnesota/EUA (MnDOT) e também é focado no cálculo da demanda (D) por caminhões, sendo utilizada a seguinte equação:

$$D = \frac{VMD \times PT \times FP \times FPD \times PV}{Voh} \quad \text{Equação 48}$$

Onde:

VMD: volume médio diário de tráfego de veículos;

PT: percentual do tráfego que para na área de descanso;

FP: fator de pico; é feita a comparação da média dos cinco meses mais movimentados com o dia médio anual;

FPD: fator de pico diário, comparando o volume horário projetado com o VMD;

PV: percentual de vagas para caminhões; e

Voh: número de veículos estacionados por hora.

Com exceção da variável VMD, as demais são obtidas por meio de pesquisa de campo.

Esse método não leva em consideração fatores relacionados às preferências dos motoristas e nem mesmo fatores legais relativos à jornada de trabalho permitida legalmente.

2.3.5 Modelo FHWA (2002)

Em relação às paradas para descanso e repouso nos Estados Unidos, existem *rest areas*, *welcome areas* e *park areas*. Os veículos pesados podem parar em qualquer uma delas. No entanto, algumas áreas possuem outros públicos, como turistas.

A seguir, é apresentado uma breve descrição de cada tipo de área:

- *rest areas*: são controladas e operadas pelo governo estadual. Nelas, tem-se acesso a água, sanitários, máquinas com café, bebidas e até mesmo alimentos, isso por meio dos chamados equipamentos de *self-service*. Todavia, normalmente, esses locais têm restrições quanto ao tempo permanência;
- *welcome centers*: esses centros também são *rest areas*, no entanto, possuem espaço dedicados aos turistas; e
- *park areas*: diferentemente das *rest areas* e das *welcome áreas*, os locais com *park areas* pertencem à iniciativa privada e possuem uma infraestrutura maximizada para atender às necessidades dos motoristas profissionais para paradas de curta e longa duração. Ou seja, nelas, motorista irá encontrar, por exemplo, local para realização de reparos em seu veículo.

O método Federal Highway Administration engloba os veículos que percorrem longas distâncias e veículos que percorrem curtas distâncias.

Em relação ao cumprimento da legislação, o que importa, nesse caso, são os veículos que percorrem longas distâncias. Como forma de exemplificação, apresenta-se, a seguir, a equação central do método, por meio da qual se objetiva estimar o tempo médio de viagem dos veículos pesados em cada segmento percorrido:

$$TTS = VMD \times PC \times \frac{Es}{V} \times FP \quad \text{Equação 49}$$

Onde:

VMD: volume médio diário de tráfego de carga, no segmento, em um determinado sentido;

PC: percentual do tráfego que representa os veículos de carga;

Es: extensão do segmento;

V: velocidade média dos veículos; e

FP: fator de pico.

Outro cálculo realizado visa encontrar o tempo médio parado para cada hora dirigindo (TMP):

$$TMP = \frac{\left(8 \text{days} \times 24 \text{hr/day}\right) \times TD \times TC \times TCD \times TE}{TD} + \frac{TP}{60} \quad \text{Equação 50}$$

Onde (considerando um período de oito dias e com base nas regras de tempo de repouso e regras da jornada de trabalho):

TD: tempo médio dirigindo;

TC: tempo médio que o motorista permanece em casa;

TCD: tempo médio de carregamento/descarregamento do veículo, em horas;

TE: tempo médio de espera para carregar/descarregar o veículo, em horas; e

TP: tempo médio de parada por hora, em minutos, ao longo do dia, com finalidade distinta de repouso.

As variáveis determinadas por meio de coleta de campo são usadas como padrão para estudos de outros trechos nos Estados Unidos.

2.3.6 Modelo de Heinitz e Hesse (2009)

O estudo de Heinitz e Herman (2009) teve por objetivo desenvolver uma abordagem genérica de modelagem reproduzindo uma

demanda dependente de tempo, ao invés de médias anuais, para estacionamentos em um segmento arbitrário de rodovia. Os autores formalizaram os limites legais em um modelo matemático que admite as notações apresentadas no Quadro 2.

Quadro 2 - Notações do modelo de Heinitz e Hesse

Horas de trabalho e de descanso para motoristas	Máximo de horas de trabalho até a parada ou repouso	Duração do período de parada ou repouso regulamentadas
Pausa curta ou longa	$w_{\max}^{(FU)}$	FU
Tempo diário de descanso	$w_{\max}^{(TR)} = \max(i)$	TR

Fonte: Heinitz e Hesse (2009, p. 29).

Onde:

FU: soma do tempo de parada;

TR: período de descanso diário;

GR: tempo total de descanso;

PZ: tempo extra adicionado ao tempo estimado; e

I: intervalo completo de tempo, compreendendo períodos ao volante, tempo total de repouso/pausa e tempos extra.

Tem-se que:

$$I = w_{\max}^{(TR)} + FU + TR + PZ = \max(i) + GR \quad \text{Equação 51}$$

A contagem do tempo recomeça após cada ciclo de duração I. Baseando-se na premissa de que os condutores são eficientes, o tempo decorrido R_{ij} para um veículo cuja origem é a unidade i na entrada do estacionamento j (no tempo total, incluindo as paradas obrigatórias) pode ser representado da seguinte forma:

$$R_{ij} \left(v, w_{\max}^{(FU)}, w_{\max}^{(TR)}, FU, TR, PZ \right) = \left(\begin{array}{l} W_{ij}(v) \\ + FU \cdot \sigma(W_{ij}(v) - w_{\max}^{(FU)}) \\ + (TR + PZ) \cdot \sigma(W_{ij}(v) - w_{\max}^{(TR)}) \end{array} \right) \text{mod I} \quad \text{Equação 52}$$

3 SEGURANÇA VIÁRIA E ÁREAS DE DESCANSO

3.1 ACIDENTES RODOVIÁRIOS: DADOS E CUSTOS ASSOCIADOS

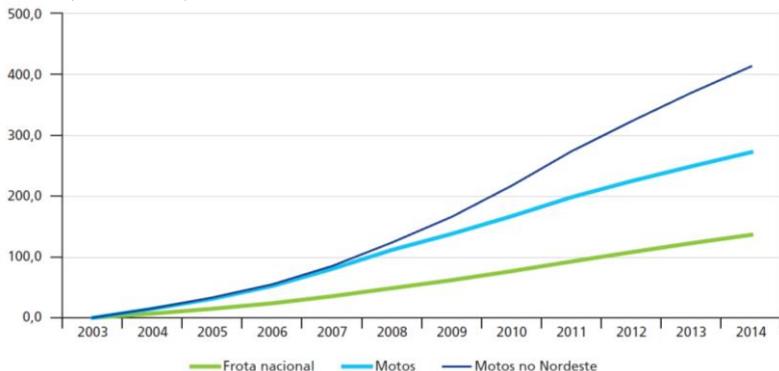
No mundo, de acordo com a OMS (2015), ocorrem cerca de 1,5 milhões de mortes no trânsito anualmente. As estatísticas nacionais de acidentes de trânsito obtidas do banco de dados do Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde (DATASUS) informam que ocorrem mais de 40 mil mortes nas estradas brasileiras. Entre as causas associadas, a falta de atenção foi considerada a principal em 2014, obtendo 32,7% do total, conforme boletim divulgado pela Polícia Rodoviária Federal – PRF (2015).

Para que uma pessoa responda a um estímulo, é necessário que ela esteja em “alerta”. Logo, se assim ela estiver, o intervalo de tempo entre estímulo e resposta é menor (tempo de reação), o que pode resultar em uma reação satisfatória. Porém, se a pessoa está desatenta, as chances de cometer uma infração ou causar um acidente são maiores. Entre os fatores que interferem no tempo de reação, estão a condição física e o estado emocional do indivíduo (PINTO, 2014). Embora a PRF não especifique o que considera falta de atenção, nesta tese, considera-se a fadiga um dos fatores relacionados a essa variável, tendo em vista que essa condição física acarreta na diminuição dos reflexos e, portanto, em menor tempo de reação.³

Com a maior facilidade de aquisição de automóveis e consequente expansão da frota de veículos no Brasil, as estatísticas de acidentes acompanharam esse crescimento, conforme mostra o Gráfico 2, extraído do Relatório de Pesquisa “Acidentes de trânsito nas rodovias federais brasileiras: caracterização, tendências e custos para a sociedade” (IPEA; PRF, 2015, p. 8).

³ Horne e Reyner (1999) apontam que a base de dados nacional de acidentes do Reino Unido, a STATS 19, também não especifica devidamente os fatores causadores de acidentes. São, inclusive, mais enfáticos ao afirmarem que os acidentes são atribuídos incorretamente. Citam o exemplo dos acidentes relacionados ao sono, que são, simplesmente, associados à desatenção, de forma inespecífica. Uma base de dados que especifique, exatamente, quais fatores estão relacionados à determinada variável/causa de acidente é importante porque, assim, as ações preventivas podem ser direcionadas positiva e diretamente ao foco causador.

Gráfico 2 - Crescimento acumulado da frota de automóveis e motocicletas - Brasil (2003-2014)



Fonte: Ipea; PRF (2015, p. 8).

Nesse mesmo Relatório produzido pelo Ipea e pela PRF (2015), afirma-se que o total de 170 mil acidentes ocorridos nas rodovias federais em 2014 gerou o custo de, aproximadamente, R\$ 12,3 bilhões, dos quais 64,72% estão associados às pessoas; 34,71%, aos veículos; e 0,58%, às instituições e propriedades.⁴

Diante dos dados de acidentes expostos neste item, a discussão a seguir diz respeito aos meios fiscalizatórios e de regulamentação do transporte rodoviário brasileiro que visam conter os acidentes de trânsito.

3.1.1 Medidas em Segurança Viária

Por meio do *site* da Organização Mundial da Saúde, é possível verificar que os planos de diversos países que apresentaram, oficialmente, uma proposta, encontram-se disponíveis para consulta, e que o do Brasil não está presente (WHO, 2013).

Organismos internacionais, como as Nações Unidas e a Organização Mundial da Saúde (OMS), lideram o processo de implementação de ações específicas por meio da iniciativa “Década de Ação para a segurança viária 2011-2020”.

⁴ Custos associados às pessoas: despesas hospitalares; atendimento; tratamento de lesões; remoção de vítimas; e perda de produção. Custos associados aos veículos: remoção de veículos; danos aos veículos; e perda de carga. Custos institucionais e danos a propriedades: atendimento e processos e danos à propriedade pública e à privada (IPEA; PRF, 2015).

Após a divulgação dessa ação, o Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID) lançou a “Estratégia de Segurança Viária” e o “Plano de Ação 2010-2015” para atuar, de forma coordenada, com os parceiros estratégicos rumo à melhoria da segurança viária e à redução das consequências do tráfego e das mortes nos países membros (BID; CIFAL, 2014).

Por mais que muitos países esforcem-se para reverter o atual cenário da acidentalidade viária, os traumatismos por acidentes de trânsito seguem sendo um dos maiores problemas de saúde pública. As maiores taxas de mortes no trânsito são registradas nos países de baixo e médio desenvolvimento, segundo relatório da OMS, de 2009.

Assim, o constante crescimento econômico e populacional, as mudanças tecnológicas e a urbanização crescente da região levaram à necessidade de atendimento de novas demandas de mobilidade. Todavia, os acidentes viários em países cada vez mais motorizados tendem a aumentar vertiginosamente (COMISSÃO REGIONAL DAS NAÇÕES UNIDAS, 2010).

Nos países membros das Nações Unidas, tem-se trabalhado na elaboração de um plano denominado “Plano Mundial para a Década de Ação pelo Trânsito Seguro” (2011-2020), cujo objetivo consiste em estabilizar e, depois, reduzir a tendência ao aumento do número de mortes por acidentes de trânsito, oferecendo orientações sobre as medidas necessárias para reduzir esse número (ANTP; CEDATT; IE, 2011).

A segurança viária é uma questão que demanda uma abordagem sistêmica. A sua melhoria é sempre um desafio, principalmente em países de baixa e média renda, nos quais persiste a falta de dados locais e é limitada a capacidade para monitorar e avaliar projetos voltados para essa ação. Há muito a ser feito para fortalecer as atividades de coleta de dados, análise e tomada de decisões sobre a segurança rodoviária (ONU, 2011).

As ações planejadas para resolver a questão da segurança viária durante essa década assentam-se em cinco pilares principais:

- Gestão da segurança rodoviária;
- Vias de trânsito e mobilidade mais segura;
- Veículos mais seguros;
- Usuários mais seguros; e
- Atendimento pós-acidentes.

As causas dos acidentes nunca envolvem somente um fator, mas um somatório de fatores inseridos em três principais grupos: humanos, do veículo e do ambiente (via e entorno), a saber:

- Fatores humanos: falhas humanas ao dirigir, excessos de velocidade e embriaguez.
- Fatores veiculares: defeitos de fabricação, ausência de manutenção e causas imprevisíveis, como estouro de pneus.
- Fator via/ambiente: condições do tempo, como chuva, granizo, neve, nevoeiro; e características da via, como geometria, iluminação, sinalização, deterioração do pavimento, entre outras.

Segundo o Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – DNER (1998), a minimização dos acidentes de trânsito e das suas consequências nas rodovias exigem a elaboração de uma série de atividades que, em seu conjunto, pode ser denominada Gerenciamento da Segurança Viária, que implica dois tipos distintos de atuação: gerenciamento preventivo e gerenciamento corretivo.

A busca das soluções para problemas de segurança viária requer estudos dos acidentes de forma detalhada, pois, além da perda de vidas, da incapacitação permanente ou temporária, dos ferimentos físicos e psicológicos e das consequências diretas na produção econômica nacional, os acidentes de trânsito também acarretam outro tipo de prejuízo, aquele que diz respeito aos seus vultosos custos ao governo. Esses custos podem ser direcionados para a melhoria das condições de vida dos brasileiros e, também, para a prevenção ou redução da ocorrência e gravidade desses acidentes.

A valoração monetária dos custos de acidentes nas rodovias federais permite, ainda, acompanhar os resultados e estimar os benefícios sociais trazidos pelas medidas de segurança de trânsito implantadas, as quais podem incluir medidas de fiscalização, educação e intervenções da via e meio ambiente (DNIT, 2004).

Ainda segundo o DNER (1998), a atuação está voltada para problemas em locais específicos, identificados em função da ocorrência concentrada de acidentes em pontos, segmentos ou áreas da rede viária. O estudo desses locais é um meio apropriado de estabelecer uma política de melhoramento dos níveis de segurança da rede rodoviária, permitindo uma definição de prioridades. Além disso, estudos da influência da rodovia e do meio ambiente nos acidentes de trânsito podem ser usados

como referência para a reestruturação e atualização das especificações e normas de projetos de segurança e engenharia rodoviária.

Tendo isso vista e tomando-se como base que os acidentes de trânsito decorrem do comportamento dos usuários do sistema viário, das condições operativas dos veículos, do estado da via e do meio ambiente ou de uma combinação desses fatores, as estratégias de tratamento de locais críticos exigem, na maioria das vezes, uma abordagem multidisciplinar.

Os acidentes podem ser significativamente reduzidos e, conseqüentemente, os seus custos, caso seja adotado um conjunto de ações sobre alguns critérios, como melhorias na infraestrutura e no meio ambiente, mudança de paradigmas na educação e cultura da população com mudança de atitude e comportamento dos usuários, além de adequado gerenciamento do tráfego e dos transportes e das inovações tecnológicas automotivas com veículos cada vez mais seguros.

Tais melhorias envolvem estudos, como o levantamento de informações detalhadas dos acidentes, o volume de tráfego das rodovias em questão, a caracterização do meio ambiente atravessado por ele (o qual sofre diretamente influências do tráfego) ou, ainda, os dados das condições físicas da via, como defeitos no pavimento, tipo de superfície, entre outros.

3.2 INFLUÊNCIA DAS ÁREAS DE DESCANSO NA SEGURANÇA VIÁRIA

As áreas de descanso têm um papel importante nos acidentes relacionados à fadiga de motoristas. A National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA), agência de poder executivo do governo dos Estados Unidos, estima que 100 mil acidentes ocorreram devido à fadiga do condutor, resultando em 1.550 mortes e 71 mil feridos.

De acordo com a Wayne State University (2012), dados de acidentes de Michigan indicam que, pelo menos, 1.262 acidentes, no ano de 2009, envolveram motoristas dormindo ou cansados. No entanto, esses dois dados, nacional e estadual, tendem a sub-representar o verdadeiro grau do problema, pois esses acidentes não são facilmente distinguíveis por um oficial da polícia, já que os motoristas, muitas vezes, não admitem ter dormido ao volante. Em todo caso, as áreas de descanso ajudam a reduzir os riscos de tais acidentes, proporcionando áreas de estacionamento seguras para motoristas cansados.

Taylor (1999) analisou a relação entre o espaçamento entre as áreas de descanso e a taxa de colisões envolvendo um único caminhão.

A maioria das colisões de caminhões envolvendo apenas um veículo ocorreu entre meia-noite e oito horas da manhã. Os pesquisadores criaram um modelo de risco para os segmentos da autoestrada, com áreas de descanso espaçadas em, pelo menos, 50 quilômetros de distância.

De acordo com a Wayne State University (2012), existe uma relação positiva de segurança entre o espaçamento da área de descanso e as colisões relacionadas à fadiga envolvendo um único caminhão. Os resultados mostraram um aumento significativo nos acidentes com um único caminhão, uma vez que a distância entre as áreas de descanso era maior que 30 milhas.

Um estudo realizado em 2007, no Departamento de Minnesota de Transporte, relacionou o espaçamento à área de descanso, às colisões de caminhões e à fadiga dos motoristas (SRF, 2007). Os principais resultados alcançados pelo estudo foram:

- a densidade de acidentes de caminhões aumenta durante o dia em distâncias superiores a 30 milhas entre áreas de repouso; e
- nas viagens noturnas, a densidade de colisão aumenta significativamente entre as áreas de descanso, e há alta demanda de estacionamento noturno.

Ainda de acordo com SRF (2007), o espaçamento curto entre áreas de descanso reduzirá os acidentes ocasionados por sonolentos. Outro ponto levantado é a necessidade de aumentar as áreas de descanso, pois a tendência é que tal ação contribua para reduzir os acidentes e os custos associados com falhas dos motoristas. Portanto, áreas de repouso adequadas potencializam a redução dos custos relacionados com acidentes de estrada.

De acordo com Banerjee et al. (2009), um estudo realizado na Universidade da Califórnia também obteve resultados semelhantes ao estudo de Taylor (1999). No documento, analisou-se a relação entre acidentes de fadiga e o espaçamento entre as áreas de descanso. Foram obtidos dados de acidentes de rodovias interestaduais da Califórnia em um período de 11 anos (1995-2005).

Banerjee et al. (2009) ainda indicam que as colisões relacionadas à fadiga foram classificadas em três tipos, como aquelas em que o motorista "adormeceu" ou estava cansado (definição exata); culpado, mas não intoxicado por drogas; ou acidente envolvendo um único veículo (definição ampla). O estudo concluiu que o fornecimento de área de descanso com adequado estacionamento de caminhões reduz,

efetivamente, em 12 vezes os acidentes relacionados à fadiga. Diante de todos esses fatores explanados, percebe-se a importância da implantação de áreas de descanso, respeitando os limites de espaçamento entre elas e fornecendo segurança, espaço suficiente e comodidade aos usuários dessas áreas.

3.3 FISCALIZAÇÃO E REGULAMENTAÇÃO DO TRANSPORTE RODOVIÁRIO

Considera-se motorista profissional de veículos automotores aquele que tem formação profissional e vínculo empregatício, atuando nas seguintes modalidades do transporte rodoviário: a) de passageiros; e b) de cargas.

Os dados sobre os acidentes rodoviários ocorridos nas rodovias federais são registrados pelo Departamento de Polícia Rodoviária Federal (DPRF). O registro é feito, inicialmente, pelo policial, no local do acidente; e, para tanto, faz-se uso do Boletim de Ocorrência (BO) da PRF. Ele é um formulário de coleta de dados de ocorrência de acidente de trânsito (FBAT01), no qual são registradas todas as informações consideradas relevantes. Esse BO pode ser visualizado na Figura 26.

Figura 26 - Formulário de coleta de dados de ocorrência de acidente de trânsito da PRF

PISTA DE ROLAMENTO		QUATRO CENTRAL		ACOSSAMENTO	
TPO	LARGURA	LARGURA	LARGURA	LARGURA	LARGURA
AFILIAS	OBSTÁC. CRUZ.	OBSTÁC. CRUZ.	DEFINIA	DEFINIA	DEFINIA
LARGURA	MEIO-RD	MEIO-RD	MEIO-RD	MEIO-RD	MEIO-RD
TRAÇADO	SARUETA	SARUETA	SARUETA	SARUETA	SARUETA
PERFIL	INCLINAÇÃO	INCLINAÇÃO	INCLINAÇÃO	INCLINAÇÃO	INCLINAÇÃO

3. VEÍCULOS ENVOLVIDOS

VEÍCULO [] PLACA [] MUNICÍPIO [] MARCANÇO/BILO []

ANO [] CDR [] RFOCORNATES [] CHES [] RENUM []

VEÍCULO [] PLACA [] MUNICÍPIO [] MARCANÇO/BILO []

ANO [] CDR [] RFOCORNATES [] CHES [] RENUM []

4. PESSOAS ENVOLVIDAS

1º VEÍCULO [] ENVOLVIMENTO: CONDUTOR PROPRIETÁRIO PASSEIRO PEDESTRE TESTEMUNHA

NOME []

CPF [] CNH (P E UF) [] CATEGORIA [] VALEADE []

1ª HABILITAÇÃO [] DATA NASCIMENTO [] RG [] NATURALIDADE []

ESTADO CIVIL [] ENDEREÇO [] CPF []

NOME DO PAI [] NOME DA MÃE []

ESCOLARIDADE [] SEXO M F GRAU LESÕES LESO LESÕES LEVES LESÕES GRAVES MORTO

TELEFONES [] KM PERCORRIDOS [] HORAS DIR GINDO (24HR) [] PROFISSÃO []

2º VEÍCULO [] ENVOLVIMENTO: CONDUTOR PROPRIETÁRIO PASSEIRO PEDESTRE TESTEMUNHA

NOME []

CPF [] CNH (P E UF) [] CATEGORIA [] VALEADE []

1ª HABILITAÇÃO [] DATA NASCIMENTO [] RG [] NATURALIDADE []

ESTADO CIVIL [] ENDEREÇO [] CPF []

NOME DO PAI [] NOME DA MÃE []

ESCOLARIDADE [] SEXO M F GRAU LESÕES LESO LESÕES LEVES LESÕES GRAVES MORTO

TELEFONES [] KM PERCORRIDOS [] HORAS DIR GINDO (24HR) [] PROFISSÃO []

Fonte: PRF (2014).

Posteriormente, o policial responsável pelo atendimento da ocorrência transcreve o BO para um sistema *web* denominado BRBrasil. Ele foi desenvolvido para uso do DPRF, com base nas necessidades desse órgão para atender às diversas ocorrências, incluindo acidentes de trânsito.

Esse sistema é utilizado em todo o país e está disponível na *internet*⁵. Ele permite que acidentes de relevância nacional sejam consultados, por exemplo, pelo Comando Geral em Brasília no momento no qual o policial está confeccionando o boletim do acidente. O BRbrasil pode ser visualizado na Figura 27.

Figura 27 - Cadastro de acidente no sistema BRBrasil

The screenshot displays the 'Sistema de Informações Operacionais' interface. At the top, it shows the user 'FELIPE DIAS SANTIAGO' and the date '16/12/2003 08:19'. The main form is titled 'Acidente' and is divided into several sections:

- Condição da Rodovia:** Includes fields for 'Acidente', 'Pessoas Envolvidas', 'Proprietário', and 'Encaminhamento'.
- Veículos Envolvidos:** Includes fields for 'Ocorrência 0', 'Status' (set to 'Aberto'), 'Data e Hora da Ocorrência' (16/12/2003 10:58), and 'Placa' (FMR1234).
- Local no BR:** Includes fields for 'UF: RS', 'BR: 280', 'Km: 72,4', 'Latitude', and 'Longitude'.
- Sentido da Via:** 'Crescente' and 'Tipo de Acidente: Colisão traseira'.
- Causa Presumida:** 'Não manter distância de segurança traseira'.
- Narrativa:** A text area containing the text: 'Conforme declaração do condutor do V1 o mesmo reduziu a velocidade devido ao fluxo de veículos e V2 colidiu na traseira do V1. O condutor do V2 afirma que o V1 parou de forma muito abrupta, não sendo possível evitar a colisão'.
- Condições:** A section with multiple dropdown menus:
 - Pista:** Com buraco, Com buraco, Em obra, Com Oelo, Com Oelo, Com material granulado, Com material granulado, Erianteada, Erianteada.
 - Restrição Visibilidade:** Carreiras/ruas, Carreiras/ruas, Configuração do terreno, Configuração do terreno, Oruscamento, Oruscamento, Outros, Outros, Páreas, Páreas.
 - Sinalização:** Vertical, Horizontal, Manual.
- Fase de dia:** 'Pleno dia'.
- Meteorológica:** 'Normal'.
- Sinalização Luminosa:** '<<<-Seletor-->>>'.

Fonte: PRF (2014).

As informações são instantâneas não só para o comando, mas, também, para qualquer policial rodoviário federal que desejar consultá-las. Isso, por um lado, facilita a fiscalização por parte da PRF e a vida do solicitante que se envolve em acidentes e deseja informações, pois basta que este solicite o acesso ao BRbrasil em postos da Polícia Rodoviária.

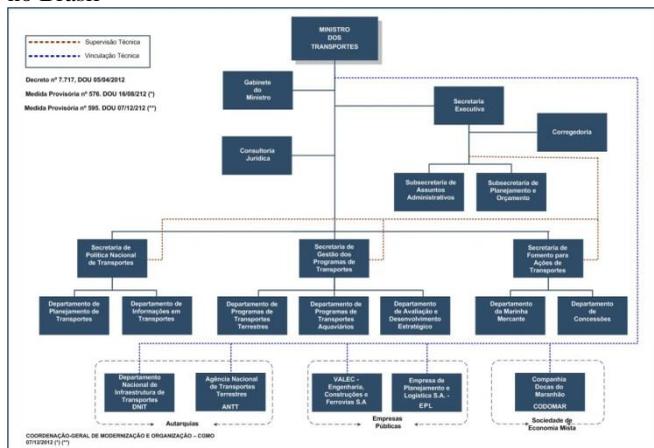
O banco de dados de acidentes de trânsito do DNIT é formado tomando-se por base esses registros efetuados pelo DPRF. Para isso, o Sistema Georreferenciado de Informações Viárias (SGV) adquire esses dados, já processados, por meio das informações enviadas pela Ecenge Consultoria e Planejamento S/C Ltda. ou pelas observadas nos arquivos do BRBrasil coletados pela Polícia Rodoviária Federal (DNIT et al. 2009).

⁵ Pode ser acessado pelo endereço <<http://www.dprf.gov.br/brbrasil/>>.

3.3.1 Instituições e suas responsabilidades

No Brasil, a hierarquia das instituições relativas ao setor de transportes no Brasil configura-se conforme o organograma apresentado na Figura 28.

Figura 28 - Organograma das instituições relacionadas ao setor de transportes no Brasil



Fonte: BRASIL (2014).

Nota: SEP/PR e SAC/PR não constam no organograma porque ambas têm competência de Ministério.

A missão de fiscalizar, diariamente, rodovias e estradas, zelando pela vida daqueles que utilizam as malhas viárias federais, é da Polícia Rodoviária Federal, que está presente em todo o território nacional. A PRF conta com uma frota de viaturas, entre elas, veículos de policiamento e resgate e aeronaves para as ações de fiscalização e remoção de vítimas de acidentes.

O transporte de passageiros é fiscalizado e regulamentado pelas prefeituras municipais que cuidam do transporte urbano. Já os governos estaduais respondem pelas linhas intermunicipais dentro de cada estado, enquanto que o Governo Federal zela pelo transporte interestadual e internacional de passageiros.

O transporte rodoviário de cargas possui valores mais elevados que o transporte ferroviário, por isso devem ser constantemente analisadas possibilidades de redução de custos nesse segmento. O que torna esse tipo de transporte mais caro são fatores, como manutenção, combustível, seguro do veículo e pedágio.

No item a seguir, é apresentado um resumo da legislação sobre horas de trabalho e de descanso no Brasil. Os itens subsequentes trazem uma revisão da legislação em alguns países.

3.4 LEGISLAÇÃO SOBRE HORAS DE TRABALHO E DESCANSO DE MOTORISTAS PROFISSIONAIS

Neste item, comenta-se sobre os limites de horas de trabalho e descanso de motoristas profissionais no Brasil e exterior, com alguns exemplos. Como será possível perceber, a Lei n. 13.103 encontrou um equilíbrio entre as leis que regulamentam as horas de serviço e descanso de motoristas de outros países. Por enquanto, a diferença mais evidente é a de que, no Brasil, o exame toxicológico é obrigatório na admissão e demissão dos motoristas contratados.

3.4.1 Brasil

A Lei n. 11.442/2007 regulamenta o transporte rodoviário de cargas por conta de terceiros, categorizando as pessoas físicas ou jurídicas por meio do Registro Nacional de Transportes Rodoviários de Cargas (RNTR-C) da Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT). Essa Lei reconhece os seguintes tipos de transportadores: Transportador Autônomo de Cargas (TAC), Empresa de Transporte Rodoviário de Cargas (ETC) e cooperativa de transporte de cargas. A quantidade de cada um desses tipos de transportadores e a frota de veículos podem ser visualizadas na Tabela 3.

Tabela 3 - Transportadores e Frota de Veículos

Tipo do transportador	Registros emitidos	Veículos	Veículos/transportador
Autônomo	706.034	881.015	1,3
Empresa	157.471	1.102.042	7,0
Cooperativa	324	18.969	58,6
Total	863.829	2.002.026	2,3

Fonte: ANTT (2016).

Por meio desses números, nota-se maior quantidade de transportadores autônomos; e, considerando o número de veículos, um domínio do mercado pelo frotista empresário. Outra análise que pode ser feita é relacionando os tipos de veículos e os tipos de transportadores, conforme a Tabela 4.

Tabela 4 - Transportadores - Tipo de Veículo

Tipo de Veículo	Autônomo	Empresa	Cooperativa	Total
Caminhão Leve (3,5T A 7,99T)	127.794	50.813	764	179.371
Caminhão Simples (8T A 29T)	389.814	226.577	3.047	619.438
Caminhão Trator	137.188	304.413	6.675	448.276
Caminhão Trator Especial	883	2.525	58	3.466
Caminhonete / Furgão (1,5T A 3,49T)	70.144	29.114	190	99.448
Reboque	9.602	28.166	225	37.993
Semi-reboque	113.905	444.330	7.797	566.032
Semi-reboque com 5ª roda / Bitrem	441	1.647	82	2.170
Semi-reboque especial	179	1.280	22	1.481
Utilitário Leve (0,5T A 1,49T)	29.651	11.648	102	41.401
Veículo Operacional de Apoio	1.414	1.529	7	2.950
Total	881.015	1.102.042	18.969	2.002.026

Fonte: ANTT (2016).

Essa relação mostra que os números são mais expressivos entre os autônomos e frotistas empresários. Aproximadamente, um quarto da frota dominada por autônomos é composta por veículos de, até, oito toneladas, totalizando 216.771, entre caminhonetes, furgões, caminhões leves e utilitários.

Pode-se aferir, também, que o transporte que rodeia os centros urbanos é predominantemente comandado pelos autônomos, os quais possuem grande importância para a economia e para o setor de transporte de cargas e dos quais os direitos e deveres devem ser regulamentados, bem como os dos motoristas profissionais empregados.

Como os direitos e deveres específicos para os profissionais do setor rodoviário precisavam ser definidos na Consolidação das Leis do Trabalho (CLT), a Lei n. 12.619/2012 trouxe medidas sobre o pagamento, ou não, de horas extras para os motoristas envolvidos no transporte de cargas no setor rodoviário. Ela dispõe sobre o exercício de motoristas profissionais de veículos automotores cuja “[...] condução exija formação profissional e que exerçam a atividade mediante vínculo empregatício” (BRASIL, 2012), integrando as categorias Transporte rodoviário de passageiros e Transporte rodoviário de cargas.

Ainda segundo a Lei n. 12.619/2012, “Capítulo III - Da condução de veículos por motoristas profissionais”, fica proibido ao motorista dirigir por mais de quatro horas ininterruptas, devendo realizar intervalos mínimos de 30 minutos entre jornadas de quatro e 11 horas

entre dois dias de jornada de trabalho. Desde março de 2013, quem descumpra a Lei está sujeito a pagamento de multa de R\$127,00 e perda de cinco pontos na carteira de motorista.

Aproximadamente um ano após tal Lei ser implantada, houve uma solicitação de modificação em sua estrutura: deputados federais criaram uma comissão presidida pelo deputado Nelson Markezelli, do Partido Trabalhista Brasileiro (PTB-SP), que propõe uma flexibilização dos tempos de descanso, alegando que a Lei inviabiliza o escoamento da produção rural.

Em um relatório final dessa comissão, datado de julho de 2013, diversos pontos foram discutidos, o que gerou o Projeto de Lei n. 4246/2012, que modifica a Lei n. 12.619/2012 de autoria do deputado Jerônimo Goergen - PP/RS. Tal relatório cita, sob a visão da comissão, os problemas gerados com a aplicação da Lei, sendo alguns deles: impacto no custo de frete e no salário de motorista, menor produtividade dos caminhões (o que acarretaria em prejuízos no pagamento de seus financiamentos) e dificuldades na comercialização de produtos perecíveis.

Uma das causas alegadas pela comissão para a existência de tais problemas era a carência de pontos de parada, o que prejudica a aplicabilidade da Lei. Além disso, foi citada a dificuldade de criação desses pontos em alguns locais com malha rodoviária precária no país, como Norte e Nordeste.

Ademais, tal comissão entende que a referida Lei não esclarece os direitos e deveres para os motoristas autônomos. Portanto, no Projeto de Lei por ela criado, há a regulamentação da profissão em relação a todos os profissionais que exercem esse ofício e, também, a obrigatoriedade na realização do exame toxicológico para motoristas profissionais. A principal mudança em comparação à Lei n. 12.619/2012 diz respeito ao período que o motorista pode dirigir ininterruptamente: seis horas ao invés de quatro. Além disso, o Projeto regulamenta o tempo de descanso para motoristas empregados e autônomos: os primeiros devem descansar por 11 horas; e, os últimos, 10 horas de descanso.

Por fim, o Projeto frisa que um dos pontos negativos da Lei é que não é tratada, de forma efetiva, a questão dos pontos de parada de descanso. No Projeto, foi entendido que “[...] a implantação dos pontos de parada é aberta à livre iniciativa privada e atribuí ao Poder Público a obrigação de adotar medidas para ampliar os espaços destinados a esses locais” (Relatório da Comissão Especial destinada a debater e propor modificações à Lei n. 12.619, de 30 de abril de 2012, que regulamenta a profissão de motorista, 2013). O texto ainda menciona a abertura de

linha de crédito, o possível uso da faixa de domínio, a abertura de acessos e trevos etc.

Conforme mencionado na introdução desta tese, a Lei n. 12.619/2013 foi atualizada para a Lei n. 13.103, em 2 de março de 2015, que é utilizada como parâmetro neste trabalho. As principais modificações em comparação com a Lei n.12.619 estão expostas na Figura 29.

Figura 29 - Principais modificações feitas na Lei n. 12.619 que deram origem à Lei n. 13.103

	LEI 12.619/2012	LEI 13.103/2015
Jornada motorista empregado	8h/dia + 2h extras (10h/dia total)	Até 4h extras com autorização do sindicato (12h/dia total)
Tempo de espera (empregados)	Remunerado no valor da hora normal + 30%	Remunerado em 30% da hora normal
Descanso diário (empregados e autônomos)	Mínimo de 11 horas, das quais 9h são obrigatoriamente ininterruptas, e as 2h restantes podem ser fracionadas	Mínimo de 11 horas, das quais 8h são obrigatoriamente ininterruptas, e as 3h restantes podem ser fracionadas em um período de 16h a partir do fim do descanso obrigatório
Intervalo durante o dia	Mela hora ininterrupta ou fracionada a cada 4h (pode dirigir até 4h ininterruptas)	Mela hora ininterrupta ou fracionada a cada 6h (pode dirigir até 5h30min ininterruptas)
Situações excepcionais	Prorrogação do tempo de direção por mais 1h até local que ofereça segurança	Possibilidade de prorrogação do tempo de direção pelo período necessário, até local que ofereça segurança

Fonte: o autor (2015).

3.4.1 Exterior

Para exemplos de leis existentes no exterior, cita-se os casos dos Estados Unidos, da Austrália, do Canadá, do México e da União Europeia, as quais serão detalhadas nos próximo itens.

3.4.1.1 Estados Unidos

Nos Estados Unidos, as regras das horas de serviço são estabelecidas pelo processo de regulamentação da FMCSA. Há uma regulamentação em vigor desde 1939, denominada *Hours of Service* (HOS). A última revisão dela ocorreu em 27 de dezembro de 2011, entrando em vigor em 1º de julho de 2013 (US/DOT, 2014). Apesar de existir algumas variações regionais e exceções para curtas distâncias, determina-se que ocorra:

- Limite de 11 horas: o motorista pode dirigir por, no máximo, 11 horas depois de 10 horas consecutivas de folga.

- Limite de 14 horas: o motorista não pode conduzir além de 14 horas consecutivas, após 10 horas consecutivas de folga. Tempo adicional de folga não estende o período limite de 14 horas.
- Limite 60/70 horas de trabalho: o motorista não pode dirigir depois de 60/70 horas de trabalho em um período de sete/oito dias consecutivos, ou seja, 60 horas em sete dias ou 70 horas em oito dias. Um motorista pode reiniciar um período de sete/oito dias consecutivos depois de descansar por 34 ou mais horas consecutivas de folga.
- Pausas para descanso: o motorista pode dirigir somente se oito horas ou menos passaram-se desde o final do último período de folga de, pelo menos, 30 minutos.

Autoridades competentes podem parar motoristas de caminhões na estrada até que eles tenham acumulado o tempo de folga suficiente para estar de volta em conformidade com a Lei. No caso de condução por mais de três horas além do limite de tempo determinado, pode ser considerada uma violação flagrante, e o motorista fica sujeito às penalidades civis máximas: policiais estaduais ou locais podem multar o motorista ou a transportadora em valores variando de US\$ 1000 a US\$ 11.000, dependendo da gravidade da violação; sanções penais federais podem ser emitidas contra operadoras que permitirem ou exigirem violações das HOS ou contra os motoristas que consciente e intencionalmente violarem seus regulamentos (US/DOT, 2013).

3.4.1.2 Austrália

Na Austrália, os motoristas credenciados no *National Heavy Vehicle Accreditation Scheme* podem operar de acordo com o *Basic Fatigue Management Standard* (BFM) (NATIONAL TRANSPORT COMMISSION, 2008). Aqueles que não são credenciados devem cumprir com as *standard hours*, opção dada no *Australian Heavy Vehicle Driver Fatigue* descrito pela National Transport Commission (2008).

As *standard hours* preconizam o seguinte: motoristas devem ter um descanso de 30 minutos a cada 5h30 de direção, que pode ser feito em dois intervalos de 15 minutos; a cada período de oito horas, o motorista não deve trabalhar por mais de 7h30 e deve parar para descanso por 30 minutos, que pode ser dividido em pausas de 15 minutos; a cada 11 horas, o motorista não deve trabalhar por mais de 10 horas e deve ter, pelo menos, uma pausa de 60 minutos em blocos não

inferiores a 15 minutos; a cada 24 horas, o motorista não deve trabalhar por mais de 12 horas e deve fazer pausa para repouso por, pelo menos, sete horas; o número máximo de horas que um motorista de caminhão pode trabalhar durante sete dias é de 72 horas, devendo ter 24 horas contínuas para descanso.

Já o BFM impõe as seguintes limitações: a cada período de seis horas e 15 minutos, o motorista não deve trabalhar por mais de seis horas e deve ter um tempo de descanso de 15 minutos; a cada nove horas, o motorista não deve trabalhar por mais de 8h30 e deve reservar 30 minutos para descanso em blocos de 15 minutos; a cada 12 horas, o motorista não deve trabalhar por mais de 11 horas e deve reservar 60 minutos para descanso não inferiores a blocos de 15 minutos; a cada 24 horas, o motorista não deve trabalhar por mais de 14 horas, devendo cumprir, pelo menos, sete horas contínuas de repouso; o número máximo de horas que um motorista de caminhão pode trabalhar durante sete dias é de 36 horas de trabalho noturno/jornada longa — Por trabalho noturno/jornada longa, entende-se qualquer período de trabalho que exceda 12 horas em um período de 24 horas ou qualquer período de trabalho entre 00h e 6h.

A BFM também limita o total de horas de direção e de trabalho a, no máximo, 144 horas em um período de 14 dias.

3.4.1.3 Canadá

No Canadá, há dois conjuntos de regras referentes às horas de serviço dos caminhoneiros: um conjunto de regras destinado aos(às) motoristas que trafegam ao Norte da latitude 60 e outro destinado ao sul dessa latitude (CANADIAN COUNCIL OF MOTOR TRANSPORT ADMINISTRATORS, 2013).

Na área ao Norte da latitude 60, os motoristas não devem acumular mais de 15 horas de tempo de condução ou 18 horas de tempo de serviço, a menos que tenham, pelo menos, oito horas consecutivas de folga antes de dirigir novamente. Os motoristas operam em um conceito de ciclos. No Ciclo 1, o motorista pode dirigir por 80 horas durante um período de sete dias; e, no Ciclo 2, esse tempo passa para 120 horas em um período de 14 dias, conforme o Canadian Council of Motor Transport Administrators – CCMTA (2013).

Ao Sul do paralelo 60, os motoristas estão limitados a 14 horas de direção em 24 horas. Períodos de descanso são de oito horas consecutivas em 24 horas, além de um período adicional de duas horas de descanso que não deve ser dividido em períodos menores que 30

minutos. O Ciclo 1 é de 70 horas em um período de sete dias; e o Ciclo 2 é de 120 horas em um período de 14 dias. Um condutor que utiliza um ciclo deve tirar 36 horas ao seu final antes de iniciar outro. Após o Ciclo 2, o condutor deve ter 72 horas de folga antes de ser autorizado a começar um novo ciclo (CCMTA, 2013).

3.4.1.4 México

No México, as regras de horas de serviço para caminhoneiros são estabelecidas por mandato constitucional. O direito do trabalho no México tem o seu fundamento no Art. 123 da Constituição Mexicana e é implementado por meio de uma série de leis federais, incluindo o Direito do Trabalho Federal, a Lei que regulamenta o Fundo Nacional de Habitação dos Trabalhadores e a Lei de Segurança Social, entre outras.

A Lei Federal do Trabalho foi adotada pela primeira vez em 1931 e alterada em 1970. Ela estabelece que um trabalhador pode dirigir até 48 horas por semana. Para cada seis dias de trabalho, os empregados têm direito a um dia de descanso com salário integral. Existem três turnos de trabalho: turno do dia (8 horas), turno da noite (7 horas) e turno misto (7,5 horas). Nas horas extras, o salário é dobrado, mas o limite são nove horas extras por semana.

Em março de 2000, o governo mexicano alterou seus regulamentos para exigir o uso de registros de estado de serviço (no inglês, Records of Duty Status - RODS) ou diários de todos os motoristas que operam em estradas federais mexicanas. As informações mínimas que devem ser registradas nos RODS são: o nome e endereço do proprietário do veículo, a placa, a classificação e as informações do veículo (como marca, ano, licença e número da *tag*), nome do motorista, número da carteira de habilitação e validade, Origem e Destino da carga, hora de partida e de chegada, direção e parada, além de casos de exceção quando o motorista exceder os limites de horas de serviço.

Durante um dia de trabalho contínuo, os trabalhadores devem descansar por, pelo menos, uma hora e meia. Se o trabalhador não puder sair do local de trabalho para descanso ou refeição, o tempo correspondente deve ser contado como parte das horas de serviço. Os motoristas podem acumular horas extras diárias de, até, três horas, mas apenas três vezes por semana.

3.4.1.5 União Europeia

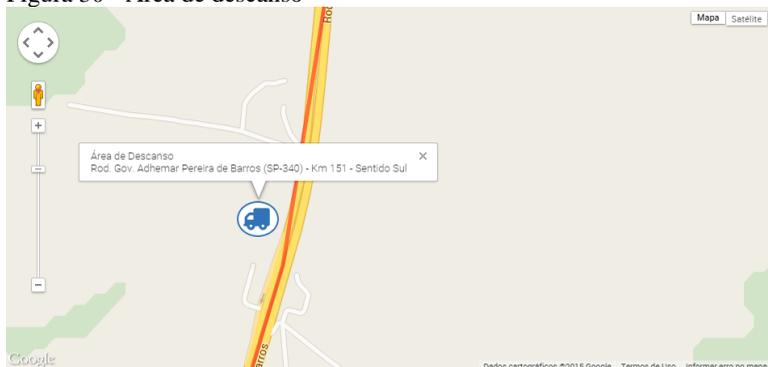
Nos países da União Europeia, as horas de trabalho dos motoristas são regulamentadas desde 2007. O tempo de direção não pode exceder quatro horas e meia, e o motorista deve ter 45 minutos de descanso após esse período, que pode ser dividido em uma pausa de 15 e outra de 30 minutos. O tempo de direção diário não deve exceder nove horas, porém, pode ser prorrogado até, no máximo, 10 horas, isso não mais que duas vezes por semana. O tempo de direção semanal não pode exceder 56 horas. Ademais, o condutor não pode exceder 90 horas de condução em um período de 15 dias. O período de descanso deve ser de, no mínimo, 11 horas ininterruptas, podendo ser reduzido para nove horas em três dias da semana.

3.5 ÁREAS DE DESCANSO NO BRASIL E NO EXTERIOR

3.5.1 Brasil

No Brasil, a experiência de áreas de descanso pode ser visualizada junto a um trecho da SP-340 (km 151), na qual foi implantado um ponto de parada com área de 25 mil m² pela concessionária Renovia. É possível visualizar a localização na Figura 30.

Figura 30 - Área de descanso



Fonte: Google (2015).

Essa área permanece aberta 24 horas por dia e destina-se tanto a caminhões quanto a veículos de passeio.

A estrutura do local oferece:

- área de lazer interna com sala de TV e jogos;
- cozinha com geladeira e micro-ondas;
- banheiros feminino e masculino com chuveiro de água quente e sanitários, com acessibilidade para deficientes físicos;
- pátio com tanque e varal;
- pátio com capacidade para abrigar 80 caminhões/carretas, com local especial para carregamentos refrigerados;
- telefone público;
- mapas rodoviários para consulta afixados no local; e
- distribuição eventual de folhetos das campanhas de segurança no trânsito e sobre saúde, em especial Doenças Sexualmente Transmissíveis (DST) e doenças cardiovasculares.

A data desses dados não foi divulgada, porém, foi confirmada pela concessionária a existência atual dessa área de descanso.

Outro exemplo de área de descanso para caminhoneiros no Brasil é o da CCR AutoBAN, localizada no km 56 da Rodovia dos Bandeirantes. Essa área de descanso tem 65 mil km². No local, funciona o Programa Estrada para a Saúde, que está instalado em um centro de atendimento de 260 m² e oferece serviços de exames e higiene.

3.5.2 Exterior

3.5.2.1 Estados Unidos - Estado da Virgínia

No estado Virgínia, nos Estados Unidos, as áreas de descanso adjacentes às rodovias interestaduais oferecem ambientes para descanso e áreas para refeições. Há espaços para pedestres e automóveis, e estes, por sua vez, são organizados para receber, separadamente, ônibus, caminhões e veículos de passeio. A sinalização de indicação dentro da zona de descanso é adequadamente dimensionada e localizada para fornecer a direção exata para os veículos. Esses sinais são claramente visíveis e estão situados em pontos de decisão, como a entrada para a área de descanso, local em que os veículos direcionam-se para diferentes áreas, conforme mostra a Figura 31.

Figura 31 - Divisão de estacionamento para diversos tipos de veículos



Fonte: Virginia Department of Transportation (VDOT) (2014).

A sinalização é clara quanto ao estacionamento dos veículos, especificando onde é possível, ou não, estacionar, evitando, assim, acidentes. Também são indicados os locais em que não é permitido o tráfego de pedestres, e os espaços destinados a estacionamento têm dimensões adequadas, com largura suficiente de pista para que os veículos manobrem facilmente durante as operações. Além disso, são indicadas as vagas para deficientes físicos e possui local especial para veículos, como caminhão, ônibus e campista, de forma que os motoristas possam descansar, conforme mostram a Figura 32 e a Figura 33.

Figura 32 - Vagas em estacionamento na área de descanso



Fonte: Virginia Department of Transportation (VDOT) (2014).

Figura 33 - Local de conveniências



Fonte: Virginia Department of Transportation (VDOT) (2014).

O projeto de iluminação inclui disposições para os motoristas que chegam e saem da área, no movimento de pedestres, em salas de repouso e centros de informação, nas áreas de refeição e locais para passeio com animais. O projeto de iluminação oferece segurança ao ambiente, tanto para os pedestres, quanto para os veículos, bem como câmeras de segurança, que estão instaladas no local.

3.5.2.2 Estados Unidos - Estado de Michigan

No estado de Michigan, o Michigan Department of Transportation (MDOT), atualmente, opera e mantém 81 áreas de descanso públicas ao longo das rodovias *freeways* e outras grandes

rodovias em todo o estado. Essas áreas são, geralmente, espaçadas por um tempo de viagem menor que uma hora e dão a vantagem de acesso rápido e no período de 24 horas a serviços básicos, incluindo estacionamento, banheiros, máquinas de venda automática, telefones públicos, mesas de refeição, área para animais de estimação e portal de informações ao viajante.

Em 2004, as áreas de Michigan atenderam a, aproximadamente, 50 milhões de visitantes. A Tabela 5 apresenta o registro de dados das áreas de descanso do MDOT por região e rodovia com base em informações obtidas por meio do *site* desse Departamento.

Tabela 5 - Áreas de descanso em Michigan: números de vagas de estacionamento

Por Região	Região ou Rodovia	Número de ADs	Para Carros	Para caminhões/<i>trailers</i>
	University	16	865	359
	North	14	770	176
	Grand Bay	11	643	242
	Southwest	10	742	254
	Southwest	10	642	266
	Superior	11	409	89
	Metro	9	531	202
	Total de todo Estado	81	4.602	1.588
Por Rodovia	I-75	22	1377	378
	I-94	12	821	341
	I-96	8	439	178
	I-69	7	380	162
	US-127	7	396	153
	US-131	6	357	102
	US-31	4	245	45
	I-196	3	167	80
	US-23	3	133	63
	US-2	4	103	23

Por Região	Região ou Rodovia	Número de ADs	Para Carros	Para caminhões/trailers
	Todas as outras vias	5	184	63
	Total de todo Estado	81	4.602	1.588

Fonte: MDOT (2013).

Essas áreas atendem a uma grande variedade de público, incluindo viajantes em férias, motoristas de veículos comerciais, passageiros, motociclistas, ônibus e outros. Os primeiros tendem a parar em áreas de descanso para fins, como uso do banheiro, pequena pausa para exercícios leves, verificação do veículo, pausa para animal de estimação, pausa para crianças, motoristas de mudança e afins. Muitas dessas paradas não são planejadas, e o acesso rápido a partir da autoestrada faz com que as áreas de descanso sejam convenientes para os motoristas e para os viajantes.

A facilidade de acesso e a disponibilidade de estacionamento de caminhões tornam as áreas de descanso convenientes para motoristas de veículos comerciais, uma vez que são obrigados a seguir as regulamentações federais e fazer pausas quando no limite de tempo de condução. Motoristas que dirigem por longos percursos, muitas vezes, dormem nas áreas de descanso, as quais oferecem grandes plataformas que incluem cabines de dormir.

Nessas áreas de descanso, há instalações de serviços comerciais alternativos, incluindo paradas de caminhões, postos de gasolina e restaurantes *fast food*, além de outros serviços, como combustível ou refeições preparadas. No entanto, as instalações comerciais comuns que existem ao longo das rodovias não são diretamente acessíveis a partir do sistema de acesso da autoestrada e, portanto, não fornecem o nível de acesso conveniente oferecida pela maioria das áreas de descanso. Além disso, áreas de descanso também oferecem várias características intrínsecas únicas que, muitas vezes, não estão presentes em centros de serviços comerciais, incluindo:

- ambiente natural relaxante com espaço para caminhada, alongamento, permitindo, assim, que crianças desloquem-se em segurança;

- alojamento para animais de estimação;
- acomodação para os viajantes com necessidades especiais; e
- estacionamento para veículos de grande porte, incluindo caminhões, ônibus e *trailers*.

3.5.2.3 Austrália

Na Austrália, existem as áreas de descanso de grande porte, em geral, e contam com locais de estacionamento separados para os veículos pesados, para os veículos agrícolas ou com produtos refrigerados e para os veículos leves, incluindo as caravanas e os trailers. Além disso, possuem banheiros, bebedouros, área protegida da chuva, mesas e cadeiras, depósitos para descarte de lixo, paisagismo que proporciona sombra nos locais de estacionamento e iluminação. Em locais com muita movimentação de veículos e pedestres, a área de descanso pode oferecer praças, centro de informações turísticas e trailers comerciais de alimentos e bebidas.

Para tempos de descanso mais curtos, existem áreas menores que oferecem estacionamento para veículos leves. O mínimo de serviços disponibilizados são: estacionamento para veículos leves, mesas e cadeiras e locais para depósito de lixo, podendo incluir bebedouros e locais com abrigo.

Figura 34 - Sinalização alertando sobre área de descanso na Austrália



Fonte: roadtripit.wordpress.com (2008).

Figura 35 - Área de descanso para caminhões na Austrália



Fonte: briskair.com.au (2015).

3.5.2.4 União Europeia

A Comissão Europeia criou um projeto para melhorar as áreas de descanso no continente, o qual ficou conhecido como LABEL. Ele estabelece um modelo de certificação para áreas de estacionamento de veículos pesados em toda a Europa. O objetivo é aumentar a segurança e a qualidade desses pontos de parada para caminhões, com 40 países participando do projeto. O LABEL é co-financiado pela Comissão Europeia, coordenado pelo Netherlands Transport Research and Training (NEA) e está ligado ao projeto Secured European Truck Parking Operational Services (SetPos).

Com base nas informações e nas conclusões resultantes do SetPos, o LABEL gerou, testou e avaliou um esquema de certificação europeia que é reconhecido pelos participantes do projeto: certificadoras, seguradoras, autoridades públicas, operadores de autoestradas, carregadores, transportadores e operadores de parada de caminhões.

Entre os objetivos do projeto LABEL, estavam:

- Introduzir uma norma europeia com um sistema de certificação para áreas de estacionamento de caminhões.
- Testar o sistema, certificando, pelo menos, 75 áreas de estacionamento de caminhões em, pelo menos, 10 estados membros da União Europeia, tanto em áreas

públicas quanto em locais privados de estacionamento de caminhões.

- Fornecer uma base de dados *on-line* sobre os locais certificados.

Entre as questões consideradas na elaboração do projeto LABEL, tem-se os seguintes exemplos:

- segurança: os motoristas, bens e veículos estão em um ambiente seguro?
- conforto e dignidade: um motorista pode tomar um banho?
- alimentos e compras: são fornecidas refeições quentes?
- serviços: reparos básicos nos veículos podem ser feitos?
- tráfego seguro: há tráfego seguro dentro da área de estacionamento dos caminhões?

3.5.2.5 França

Na França, existem dois tipos de pontos de parada: áreas de descanso e áreas de serviço. Em ambas, pode-se verificar a existência de estacionamento para veículos de passeio, veículos pesados e *trailers*. O espaçamento entre essas áreas em uma rodovia francesa é menor que 15 km, sendo 20 km a distância máxima entre duas áreas quaisquer (de descanso e de serviço). Já entre as áreas de serviço, que são aquelas que oferecem um número maior de opções de serviços ao usuário, a distância máxima entre elas não ultrapassa 55 km. O Quadro 3 mostra a obrigatoriedade, ou não, dos serviços oferecidos nessas áreas, sendo as legendas: obrigatório (O), recomendado (R) e facultativo (F).

Quadro 3 - Serviços das áreas de descanso do Projeto LABEL

Funções	Equipamentos	Área de Descanso	Área de Serviço
Parada de Curta Duração	Banheiro Fonte de água Mesas e bancos	O O O	O O R
Descanso	Áreas de descanso equipadas com áreas para piquenique Parque infantil Abrigo	O R F	R R F
Abastecimento de veículos	Posto de gasolina Oficina	- -	O R

Funções	Equipamentos	Área de Descanso	Área de Serviço
Venda de produtos alimentares	Ponte de venda de alimentos comuns	F	R
Refeições	<i>Buffet</i> ou restaurante	F	O
Hotelaria	Hotel	F	F
Serviço Informativo para o Usuário	Painéis de informações turísticas	O	O
	Sala de informação e entretenimento	F	F
	Telefone Público	R	O
	Quiosque (banca de revista e venda de cigarros)	-	F
	Caixa de correio	-	F
	Agência de câmbio		
Segurança	Telefone de emergência	O	O
	Dispositivo contra incêndio	F	O
	Iluminação ambiente	R	R
	Cercas	R	R

Fonte: Comissão Europeia (2008).

Quando o usuário está a 300 m da área de descanso ou de serviço, há uma placa sinalizando para o evento, bem como um alerta ao condutor sobre a existência da próxima área de descanso ou de serviço e quão distante está o próximo local de estacionamento (Figura 36). Essa sinalização é de grande valia ao motorista, pois ele pode programar-se quanto ao descanso e ao abastecimento do veículo.

Figura 36 - Aviso sobre área de descanso a 300 m - próxima área e estacionamento



Fonte: LabTrans/UFSC (2013).

Nas áreas de descanso, nota-se, além da presença de estacionamentos, a disponibilização de sanitários e espaços para os usuários realizarem refeições, conforme a Figura 37 e a Figura 38.

Figura 37 - Estacionamento de veículos de passeio em área de descanso



Fonte: LabTrans/UFSC (2013).

Figura 38 - Banheiros em área de descanso na França



Fonte: LabTrans/UFSC (2013).

4 MÉTODO PROPOSTO: MÉTODO PARA ALOCAÇÃO DE ÁREAS DE DESCANSO PARA O TRANSPORTE DE CARGA EM REDES RODOVIÁRIAS (AAD)

O método proposto pretende ser uma ferramenta de apoio à tomada de decisão que facilite a identificação dos locais que necessitam da implantação de áreas de descanso em trechos rodoviários.

O que se pretende é desenvolver um método que potencialize o planejamento da implantação das áreas de descanso. O princípio básico desse método é considerar as todas as viagens entre as zonas de tráfego e, ao mesmo tempo, respeitar os parâmetros legais.

O cumprimento da legislação no Brasil, conforme visto no decorrer do presente trabalho, atualmente, é inviável, pois não existem áreas de descanso suficientes para que os caminhoneiros possam cumprir os parâmetros legais. Então, para que as autoridades possam cobrar o cumprimento da legislação, é necessário que os caminhoneiros tenham onde parar e descansar.

Como foi possível notar nos métodos e modelos apresentados e analisados, é necessário o levantamento de diversos parâmetros, os quais demandam várias visitas a campo a fim de responder a perguntas como:

- a- Qual a localização dos trechos rodoviários cujas áreas de descanso devem ser implantadas?
- b- Qual sua prioridade de implantação das áreas de descanso identificadas?

O presente trabalho traz uma proposta que simplifica essa análise, pois soluciona, preliminarmente, esse problema. Assim, é possível evitar custos e viagens desnecessários, concentrar os esforços em trechos específicos e planejar, no escritório, a ida a campo de maneira inteligente e otimizada, quando necessária.

O método proposto diferencia-se dos apresentados no capítulo anterior porque seus parâmetros não precisam, necessariamente, de pesquisa de campo e, também, garante que todos os pares OD da área de estudo estarão aderentes aos parâmetros legais. Outro ponto importante no método proposto é referente à etapa de priorização para implementação dos trechos identificados. Por meio dele, é possível determinar os trechos onde deverão ser implantadas as novas áreas de descanso.

Tendo isso em vista, o presente estudo visa estimar e otimizar a localização dos trechos rodoviários que devem ser considerados prioritários para a implantação de áreas de descanso.

Como supracitado, é proposta a elaboração de um método de planejamento viário para a localização de trechos rodoviários que otimiza a alocação áreas de descanso.

Por meio dos seus resultados, será possível, inclusive, apoiar o cumprimento da legislação vigente, que, entre outras deliberações, determina o tempo de viagem máximo entre as paradas dos motoristas.

A partir dos resultados oriundos das etapas do método, é possível obter informações sobre os trechos rodoviários que são prioritários a sua implantação ou, ainda, quais são as viagens beneficiadas com a implantação de determinada área de descanso. Uma das particularidades apresentadas nas etapas diz respeito à potencialidade de o método considerar a existência áreas de descanso.

Portanto, o presente método tem, como meta, fornecer ferramentas que possibilitem verificar se as áreas de descanso existentes são suficientes para a demanda de caminhões que trafegam nas rodovias e, principalmente, onde as áreas devem ser implantadas.

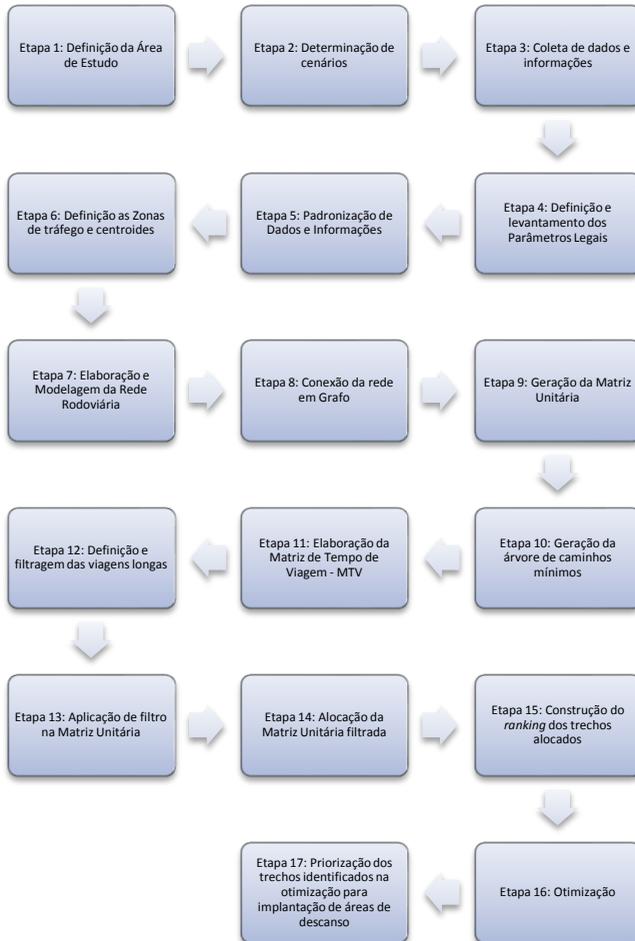
Os aspectos a serem observados são tanto em termos de origem quanto de destino das cargas, a fim de respeitar as regras estabelecidas pela legislação que rege a jornada de trabalho de motoristas profissionais. Ambos irão apoiar a definição da localização dos trechos rodoviários que necessitam de novas áreas de descanso.

4.1 ETAPAS DO MÉTODO

O método proposto, que pretender apoiar a definição dos trechos prioritários para implantação das áreas de descanso, possui várias etapas, que serão apresentadas na sequência de sua execução. Basicamente, trata-se de elementos referentes à obtenção dos dados, aos parâmetros legais, à compilação e à análise espacial, à alocação de viagens e ao algoritmo de macrolocalização e priorização dos trechos rodoviários.

Na Figura 39, é possível visualizar fluxograma das etapas do método.

Figura 39 - Etapas do método



Fonte: o autor (2015).

4.1.1 Etapa 1: Definição da área de estudo

A área de estudo é a primeira etapa, pois é nela que se define a região da qual se pretende conhecer os trechos rodoviários que possuem necessidades de implantação de áreas de descanso, possibilitando, então, que os caminhoneiros possam respeitar a Legislação.

A partir desse ponto, inicia-se os procedimentos necessários para responder à questão referente à localização dos trechos que devem ser prioritários para a implantação das áreas.

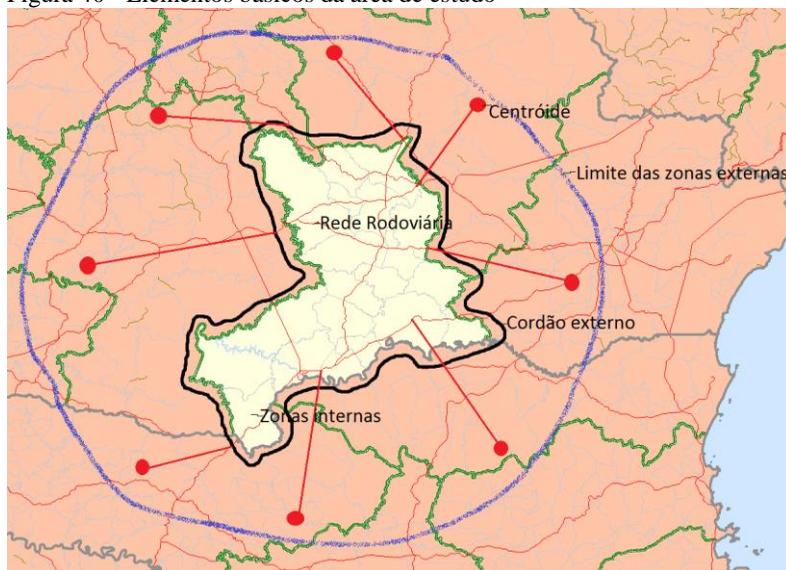
O principal objetivo da área de estudo é criar um isolamento virtual das demais áreas existentes. Isso é importante porque permite um detalhamento da região que se pretende estudar, cuja especificação faz-se necessária a fim de definir algumas delimitações a serem consideradas, por exemplo, os limites da rede de transporte.

Essa etapa é primordial, também, visto que todos os dados a serem coletados e analisados dependem das delimitações impostas pela unidade espacial de análise. Eles podem ir desde os dados geográficos até os socioeconômicos.

Os elementos básicos contidos na região de estudo para a implantação de áreas de descanso, mostrados na Figura 40, basicamente, são:

- limite das zonas externas;
- centroides;
- zonas de tráfego de fronteira; e
- rede rodoviária de fronteira.

Figura 40 - Elementos básicos da área de estudo



Fonte: o autor (2015).

O cordão externo é uma linha virtual que circunscreve a região de estudo, com o objetivo de delimitar e filtrar os elementos que estão contidos na área que será analisada mais profundamente. O cordão externo também auxilia na separação das zonas de tráfego internas das externas; ele não precisa, necessariamente, respeitar barreiras físicas, naturais ou políticas. Em um planejamento tradicional de transportes, é recomendado que não se utilize separações políticas para que não fiquem fora dos estudos alguns detalhes importantes da região, pois essas separações não deveriam interferir. Todavia, para o caso de área de descanso, o autor recomenda que se utilize, como referência, uma delimitação política ou geográfica, a fim de facilitar a segmentação. Para isso, é necessário utilizar uma ferramenta SIG a fim de facilitar esse corte, por exemplo, usando funções espaciais que relacionam camadas – entre elas, a intersecção.

O limite das zonas externas nada mais é que a região escolhida que delimita a localização máxima que será considerada no estudo. Todavia, a sua delimitação é virtual, ou seja, não precisa respeitar uma delimitação política ou física, pois seu objetivo é apenas representar uma localização externa ao cordão. Esse limite e, principalmente, o cordão externo podem indicar áreas nas quais existe a previsão de

desenvolvimento futuro dentro do período para o qual se planeja a implantação das áreas de descanso.

As zonas de tráfego externas devem estar contidas dentro do limite das zonas externas. No contexto das áreas de descanso, o limite das zonas externas não necessariamente precisa ser feito; o importante é definir bem os locais onde essas áreas estão. Na seção sobre zonas de tráfego, será retomado o assunto de como definir a localização.

No presente método, o conjunto de variáveis mais importante é o das características que podem influenciar a atração e a produção de viagens entre as possíveis zonas de tráfego a serem definidas, tanto as internas quanto as externas. Na delimitação da área de estudo, o que importa é a definição das possíveis áreas de fronteira, considerando-se que, posteriormente, no momento da definição das zonas de tráfego internas, é possível adaptar os limites internos utilizados nessa etapa.

Na definição da área de estudo, deve-se selecionar as regiões de fronteira e as especificidades de seus movimentos, principalmente os externos, ou seja, na fronteira de sua área. Outro ponto fundamental a ser observado é em relação ao tempo entre as zonas de fronteira mais distantes, ou seja, tempo máximo entre Z_i e Z_j .

Para isso, é necessário elaborar uma matriz unitária entre as possíveis zonas de tráfego de fronteira ou, ainda, entre as zonas externas. O passo seguinte é fazer múltiplas simulações para encontrar a matriz de tempo de viagem entre essas zonas. Outro ponto fundamental é o da definição, mesmo que simplificada, da rede de transportes, a fim de possibilitar que essa simulação seja usada para definir a área de estudo. Um método que pode ser utilizado nesse caso é o das linhas de desejo, ou seja, o da rede que liga uma Origem a um Destino. As definições das zonas de tráfego e da rede de transporte serão detalhadas na sequência da explicação do método proposto.

Recomenda-se que o tempo máximo entre a Z_i e Z_j não ultrapasse dois dias de viagem. O motivo da recomendação diz respeito à análise da aderência ao tempo de viagem, pois, de acordo com Lei n. 13.103/2015, a jornada de trabalho é de oito horas, admitindo-se prorrogação por até duas horas extraordinárias ou mediante previsão em convenção ou acordo coletivo por, até, quatro horas extraordinárias. Ou seja, o motorista, em um dia de trabalho, pode dirigir, no máximo, 12 horas. No Artigo 4 dessa Lei, são definidas as viagens de longa distância. Segundo ele, viagens de longa duração são aquelas em que o caminhoneiro profissional permanece fora de casa ou da empresa por mais de 24 horas.

Assim, é necessário fazer a análise do tempo de viagem considerando as viagens de média e longa duração para saber se o motorista está respeitando a Legislação. Por outro lado, de forma geral, após realizar o repouso e o descanso, o motorista zera suas obrigações e, então, reinicia o contador para limitar o tempo de viagem.

O estabelecimento de uma área de estudo poderia considerar duas jornadas de trabalho, mas não é obrigatória a utilização dessa delimitação para se utilizar o método. Todavia, é preciso entender que quanto maior o problema a ser resolvido mais numerosas serão suas alternativas de solução e, conseqüentemente, maior será o tempo para encontrar a melhor. Por exemplo, nas simulações, quanto maior for a rede de transporte e os centroides a serem considerados, maior a complexidade do algoritmo.

Dessa forma, a divisão do problema de identificação dos trechos prioritários para a implantação de áreas de descanso em pequenas ou médias regiões facilita as análises necessárias para a tomada de decisão. Esse assunto será tratado, com detalhes, na etapa de definição de zonas de tráfego.

4.1.2 Etapa 2: Determinação de cenários

No planejamento de transportes, a definição de cenários, normalmente, é uma etapa primordial, pois é nela que se cogita as alternativas para as possíveis soluções e se permite fazer combinações de imagináveis soluções para um determinado problema.

De acordo com Portugal (2005), a elaboração de cenários é uma etapa que possibilita simular diferentes cenários de tráfego mediante diferentes situações. Um ponto interessante dessa ação é referente à possibilidade de avaliar os cenários atual e futuro.

A definição de cenários permite validar as hipóteses levantadas. Além disso, permite simular intervenções na infraestrutura de forma virtual, ou seja, sem a necessidade de realizar uma obra real. Esse tipo de mecanismo possibilita amenizar desperdícios.

A etapa de definição de cenários para a identificação dos trechos prioritários para a implantação de áreas de descanso pode ser dividida em três situações:

- demanda de tráfego: utilização de dados da demanda de tráfego atual e da demanda futura;
- infraestrutura viária: consideração de intervenção na rede rodoviária a partir de investimentos em obras, podendo ser pavimentação ou construção de uma nova rodovia; e

- áreas de descanso: esse momento é referente à existência de áreas de descanso nos trechos rodoviários contidas dentro da área de estudo. Basicamente, será considerado um cenário no qual não exista nenhuma área de descanso implantada. Ademais, deve existir um cenário que considere a existência de áreas de descanso disponíveis.

Assim, tem-se oito combinações de alternativas de cenários possíveis. A quantidade a ser considerada nesse estudo e as combinações de situações possíveis são demonstradas no Quadro 4.

Quadro 4 - Alternativas de cenários para o estudo de implantação de áreas de descanso

Cenários	Demanda de tráfego		Infraestrutura viária		Áreas de descanso	
	Atual	Futuro	Com obra	Sem obra	Inexistente	Existente
1	X		X		X	
2	X		X			X
3	X			X	X	
4	X			X		X
5		X	X		X	
6		X	X			X
7		X		X	X	
8		X		X		X

Fonte: o autor (2015).

Em um estudo viário sobre a identificação dos trechos rodoviários para a implantação de áreas de descanso, não é obrigatório considerar todas as possíveis combinações de situações.

4.1.3 Etapa 3: Coleta de dados e informações

Os dados e as informações possuem enorme valor durante a execução de um estudo de planejamento nas atuais organizações, pertençam elas a entidades privadas ou públicas. Considerar a importância que a informação exerce sobre os fatores de sucesso das organizações e, conseqüentemente, de um estudo é primordial para alcançar objetivos e metas programados.

A atividade de levantamento ou aquisição de dados é importante para o método proposto, pois diz respeito a quais dados e informações são necessários para rodar as demais etapas.

Nessa etapa, é necessário realizar as seguintes atividades para que seja possível ter o controle sobre o processo preconizado pelo método:

- identificar parâmetros, bases de dados, dados secundários e informações necessários ao método;
- identificar fontes de dados e informações;
- verificar a confiabilidade das fontes de dados e informações;
- definir o mecanismo de coleta de dados;
- planilha eletrônica;
- banco de dados;
- arquivos em PDF;
- webservices;
- arquivos em SHP; e
- realizar a coleta de dados e informações.

Tais atividades são fundamentais para que o método tenha sucesso na realização de um estudo, visto que, por meio de uma fonte confiável, de boa caracterização e de bom detalhamento, é possível ter a garantia de que bons dados de entrada irão gerar resultados confiáveis.

Identificação dos dados necessários ao método

Os dados necessários para o método podem ser resumidos nos seguintes grupos: dados socioeconômicos, dados geográficos, dados de investimento, dados políticos, dados de pontos de parada, demanda de tráfego, dados de fiscalização em infraestrutura, dados de produção agrícola e ocupação do solo.

Os dados socioeconômicos são utilizados para dois fins nesse método, a saber: na modelagem da demanda de tráfego ou na etapa de priorização dos trechos a serem avaliados. Para a elaboração da demanda de tráfego, são comumente utilizados dados socioeconômicos para definir as viagens das zonas de tráfego, seja de produção ou atração.

Os dados socioeconômicos a serem considerados são:

- população;
- dados de exportação e importação;
- frota de caminhões;
- densidade demográfica; e
- PIB.

Os dados de demanda de tráfego também podem ser utilizados no método proposto como fonte base para a modelagem da demanda atual ou para a modelagem da demanda futura – por exemplo, ao utilizar-se o método fator de crescimento, obtém-se a matriz de geração.

Os dados de investimento em infraestrutura, basicamente, referem-se a quais são os planos de investimento em obras nas estradas brasileiras, seja na esfera federal, estadual ou municipal. Esses dados podem ser utilizados na definição dos cenários a serem verificados.

Os dados de produção agrícola são importantes, pois sua localização e a quantidade de produção são fundamentais no método proposto, já que essas mercadorias demandam uma quantidade enorme de transporte em rodovias. Os dados de ocupação do solo, também, são comumente utilizados nos modelos de demanda.

Em relação aos dados políticos, de fiscalização, de pontos de parada e, até mesmo, os de investimento em obras, é primordial que estejam georreferenciados para que seja possível formar a base geográfica para o presente método ser utilizado. Por exemplo, a camada política de municípios é fundamental para definir-se as zonas de tráfego.

Dessa forma, a base geográfica deve ser composta, no mínimo, pelas seguintes camadas:

- camadas políticas;
- estados, municípios e mesorregiões.
- camada de rodovia;
- camada de pontos de parada;
- posto de combustível;
- camada de ponto de fiscalização;
- posto da PRF; e
- possíveis fontes de dados e informações no Brasil

Para a etapa de coleta dos dados, as suas fontes podem ser diversas, mas o ideal é que sejam obtidos via instituições oficiais. No Brasil, os principais locais para a coleta de informações são:

Instituições:

- IBGE;
- DNIT;
- DERs;
- ANTT;
- Ministério dos Transportes;
- MDIC;
- SEP/PR; e
- ANTAQ.

Estudos:

- PNLT;
- PNLP;
- PNIH; e
- PIL.

4.1.4 Etapa 4: Definição e levantamento dos Parâmetros Legais

Nessa etapa, é o momento em que devem ser definidos e coletados os parâmetros legais que serão utilizados no método. Na presente etapa, também são feitas recomendações de como obter os parâmetros legais necessários para executar o processo do método proposto.

A legislação em vigor que trata das áreas de descanso e, também, da jornada de trabalho dos caminhoneiros deve ser observada nessa etapa do método, pois, a partir de suas informações, torna-se possível coletar os parâmetros legais relevantes para ele.

No Brasil, há diversos parâmetros preconizados pela Legislação, desde a Lei n. 12.619/2012, que alterou, principalmente, a Consolidação das Leis do Trabalho (CLT), de 1943, chegando à Lei n. 13.103/2015, além de informações complementares da Portaria n. 944/2015 e da Resolução CONTRAN n. 525/2015.

Assim, os dados e as informações que devem ser considerados no método são relativos, principalmente, à jornada de trabalho. Entretanto, existem informações complementares que devem ser levadas em consideração, como as que se referem a condições sanitárias, de conforto e segurança, além de disponibilidade de serviços. Elas serão úteis para o método porque irão auxiliar na definição de cenários, de filtros nas camadas geográficas e, conseqüentemente, de trechos e segmentos e na análise dos resultados.

Conforme mencionado, os parâmetros principais são relativos à jornada de trabalho. Eles podem ser divididos em dois grupos, a saber:

- Grupo 1: Tempo para Descanso (TD): tempo curto necessário para que o motorista possa descansar durante a jornada de trabalho.
- Grupo 2: Tempo para Repouso (TR): tempo longo, necessário para que o motorista possa repousar depois de uma jornada de trabalho.

- Grupo 3 : Tempo para Refeição (TR): tempo curto, necessário para que o motorista possa realizar suas refeições.

Os parâmetros necessários para o método relativos ao Grupo 1, TD, são:

- Tempo Máximo de Direção Contínuo (TMC): esse parâmetro refere-se ao tempo que o motorista pode dirigir de forma contínua no exercício da condução do caminhão.
- Tempo do Ciclo de Condução (TCC): esse parâmetro refere-se ao tempo máximo de condução que o motorista pode trafegar entre um ciclo. Ou seja, a cada TCC, é necessário ter um intervalo para descanso.
- Tempo Mínimo de Intervalo para Descanso entre as Paradas (TI_{dp}): esse parâmetro refere-se ao tempo mínimo de intervalo que o condutor de veículo de carga precisa descansar.

No caso do Brasil, os parâmetros para o Grupo 1, TD, são:

- TMC = 5,5 horas;
- TD = 30 min = 0,5 horas; e
- TCC = 6 horas.

Os parâmetros necessários para o método relativos ao Grupo 2, TR, são:

- Jornada diária de Trabalho máxima (JdT): esse parâmetro refere-se à jornada diária de trabalho.
- Tempo de Prorrogação normal (TP_n): esse parâmetro refere-se ao tempo em que o motorista pode exceder a jornada diária de forma extraordinária.
- Tempo de Prorrogação – convenção ou acordo coletivo (TP_{ca}): esse parâmetro refere-se ao tempo que o motorista pode exceder a jornada diária de forma extraordinária, previsto em convenção ou acordo coletivo.
- Tempo para Repouso (TR_n): esse parâmetro refere-se ao tempo de repouso, dentro de 24 horas, ao qual o trabalhador tem direito.
- Tempo de Repouso ininterrupto (TR_i): esse parâmetro refere-se ao tempo de repouso ininterrupto.

No caso do Brasil, os parâmetros para o Grupo 2, TR, são:

- JdT= 8 horas;
- TPn = 2 horas;
- TPca = 4 horas;
- TRn = 11 horas; e
- TRi = 8 horas.

4.1.5 Etapa 5: Padronização de Dados e Informações

O ser humano já trabalha com dados e informações há séculos, e, com o advento da tecnologia, eles tornaram-se gigantescas bases disponíveis de forma facilitada por meio da internet, seja via *browser* ou aplicativo. A grande questão da era da tecnologia, da informação e do conhecimento é como filtrar e padronizar esses dados.

A padronização de dados convencionais ou geográficos facilita a comunicação, a interpretação e a interoperabilidade. Assim, várias pessoas podem trabalhar com eles, extraindo o máximo de informações. Ela visa garantir a qualidade dos dados, o acesso fácil, a estruturação e, por fim, a organização em um formato uniforme – no caso, em forma de tabelas contidas em um banco de dados relacional para fácil tratamento e consulta.

A aplicação da padronização nos dados coletados facilita a interoperabilidade entre as bases de dados, dando segurança na aplicação do método. Portanto, essa etapa é primordial para o método proposto, pois cada instituição-fonte, normalmente, trabalha com definições e especificações próprias, seja para dados convencionais ou geográficos. Então, é necessária uma etapa que consiga alinhar todos esses dados e essas informações em uma mesma direção.

O processo de padronização demanda atividades de administração dos dados e deve dirigir as estratégias, as práticas e os procedimentos necessários para a gerência de recursos de dados dos aplicativos. Assim, nessa etapa, basicamente, devem ser realizadas as seguintes atividades: análise de dados; identificação de regras; organização; e tratamento dos dados.

Na análise de dados, serão identificadas as inconsistências destes e se existem relacionamentos entre as bases de dados. Será feita a verificação da qualidade por meio de uma análise aprofundada em busca de possíveis falhas, por exemplo: um dado de população de uma cidade acima da somatória do seu estado; um dado de produção agrícola acima da produção nacional daquele produto; velocidade média operacional de

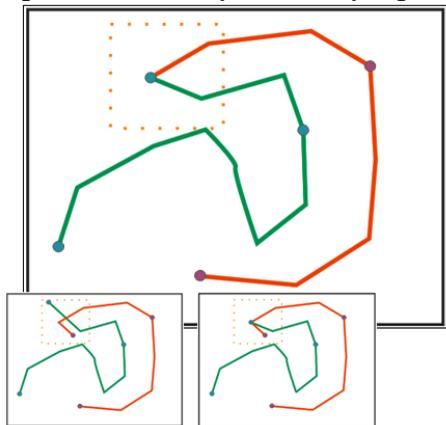
veículos de carga nos trechos rodoviários; ou, ainda, a verificação das extensões.

Na atividade de identificação das regras, serão identificadas as regras de negócios necessárias para a padronização.

Na atividade de tratamento dos dados, serão realizadas a compilação e a consolidação dos dados. Nesse momento, podem ocorrer operações nos dados, sejam eles convencionais ou geográficos. A primeira tarefa é subir os dados para um banco de dados relacional, para que seja possível realizar operações por meio da linguagem de acesso ao banco de dados, denominada Structured Query Language (SQL).

Para o método proposto, tratando-se de base de dados geográfica, os principais problemas que podem ocorrer são erros topológicos de sobreposição e de espaços entre os polígonos que compunham a base. Esse tipo de ocorrência pode ocasionar desconexão nos trechos rodoviários, como é possível observar na Figura 41. Dessa forma, é necessário realizar o tratamento desses dados primários. Para resolver a essas questões, o ideal é a utilização de ferramentas SIG.

Figura 41 - Possíveis problemas topológicos na rede rodoviária



Fonte: o autor (2015).

A organização dos dados é referente à estrutura da base de dados, que deve ser utilizada de maneira a facilitar o acesso e a evitar redundância.

De acordo com Heuser (2008), o processo de normalização dos dados em um banco de dados baseia-se no conceito de forma normal, que é uma determinada regra a ser obedecida por uma entidade do banco de dados, conhecida como tabela. Existem diversas formas normais

chamadas de primeira, segunda, terceira e quarta forma normal. Para as devidas estruturações dos dados no presente método, é necessário ir somente até a terceira. As formais normais são:

- primeira forma normal: contém tabelas aninhadas;
- segunda forma normal: o dado já está na primeira forma normal e, também, não contém dependências parciais; e
- terceira forma normal: o dado já está na segunda forma normal e, também, não contém dependências transitivas.

Caso o estudo seja realizado por uma equipe além da modelagem e do desenho dos relacionamentos entre as entidades, a padronização prevê a definição sobre as políticas de inclusão, alteração, deleção e acesso, de forma que as permissões para determinados indivíduos possa ser verificada a cada entrada, evitando, assim, a visualização ou a alteração de dados indevidamente.

Todo o processo de padronização deverá ser registrado e armazenado em relatórios específicos para validação e preservação do histórico da metodologia e dos trabalhos realizados para a consolidação entre as bases de dados utilizadas. Existem algumas técnicas que podem ser utilizadas nesse caso.

No método proposto, recomenda-se utilizar um mapa conceitual ou a criação de metadados. Esses procedimentos visam garantir a integridade e a veracidade dos dados, armazenando informações sobre eles na forma de metadados, com a premissa de identificar sua origem e validade.

Quando se trata de dados geoespaciais, a consolidação de metadados de informações geoespaciais faz-se necessária por determinação da CONCAR e da Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE), por meio do Decreto n. 6.666/2008, amparados por leis e resoluções que versam sobre a matéria.

Todas essas ações buscam obter dados atualizados, bem como potencializar a procura recorrente por novas fontes de dados que possam inferir valor a eles, para que sejam utilizados com eficiência nos cálculos e nas análises.

4.1.6 Etapa 6: Definição das zonas de tráfego e centroides

Após a definição dos limites principais da área de estudo por meio do cordão externo e da definição preliminar das zonas de fronteira, é o momento de determinar as zonas de tráfego e os centroides que serão considerados para o estudo.

4.1.6.1 Etapa 6.1: Definir zonas de tráfego

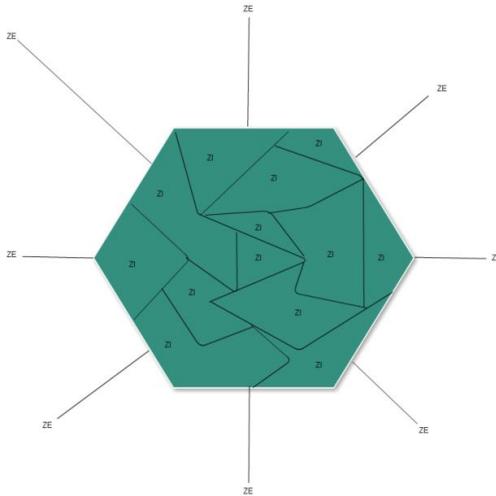
As zonas de tráfego são consideradas as unidades espaciais de análise. A finalidade básica é produzir os movimentos das origens até os destinos, objetivando conhecer o fluxo e/ou os caminhos utilizados para ligar a origem ao destino.

De acordo com Valente (2014), cada setor homogêneo dentro da área de estudo possui características que são pesquisadas e analisadas para a formação das zonas de tráfego (ZT), em cuja definição devem ser analisadas as variáveis socioeconômicas e políticas, o uso do solo, a motorização etc.

Já de acordo com Campos (2007), as zonas de tráfego ou zoneamento são a unidade básica de análise, cujo objetivo é constituir os fluxos de transportes gerados pelos movimentos origem/destino das viagens, a fim de avaliar o desenvolvimento econômico e de uso do solo local. Destaca-se que, conforme afirma Valente (2014), no caso de um estudo regional, é comum o tamanho de uma zona variar em função dos municípios.

De modo geral, como é possível observar na Figura 42, o zoneamento é a subdivisão da área de estudo escolhida em regiões menores do ponto de vista do tráfego de veículos. As zonas de tráfego podem ser classificadas em zonas internas (ZIs) e zonas externas (ZEs) ao cordão externo.

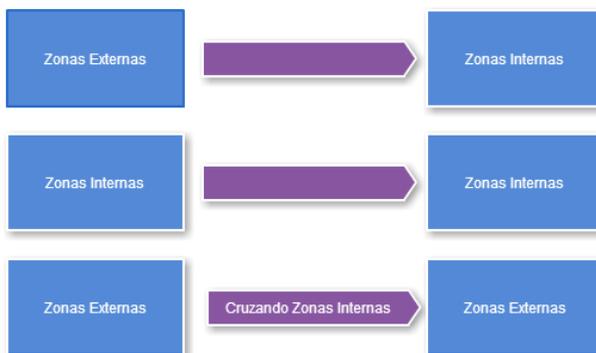
Figura 42 - Representação das ZIs e das ZEs



Fonte: o autor (2015).

Os movimentos básicos entre as zonas consideradas no estudo de planejamento de implantação das áreas de descanso são das zonas externas para as zonas internas e das zonas internas para outras zonas internas, e também entre as zonas externas cruzando as zonas internas conforme pode ser visto na Figura 43.

Figura 43 - Movimentos entre as zonas de tráfego



Fonte: o autor (2015).

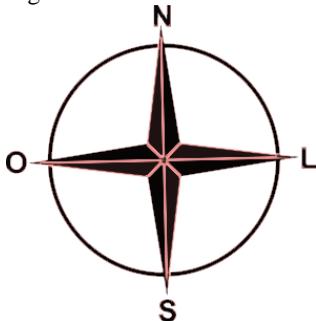
As zonas externas devem representar os movimentos de transportes que ocorrem fora da área de estudo.

De acordo com Valente (2014), o zoneamento externo permite a realização de análises dos movimentos que envolvem as regiões de entorno da área de estudo, ou seja, das viagens que ocorrem fora dessa área. Existe a tendência de as ZEs serem maiores quanto mais longe estiverem da área de estudo.

No caso das áreas de descanso, é importante definir as ZEs, pois é necessário detectar os movimentos que ocorrem fora da área de estudo e que possuem uma influência direta nas viagens que utilizam rodovias na região em análise, assim incluídas algumas das viagens com origem ou destino fora da área de estudo, pois é necessário mapear todas as rotas utilizadas pelos caminhoneiros contidas nela.

No método proposto a elaboração das ZEs é utilizado de maneira a simplificar e diminuir o problema que se pretende resolver. No caso dos estudos sobre a implantação de áreas de descanso, tal método recomenda que sejam elaboradas quatro ZEs que consigam cobrir as viagens com OD nas seguintes direções: do Sul, Norte, Leste e Oeste, conforme demonstrado na Figura 44.

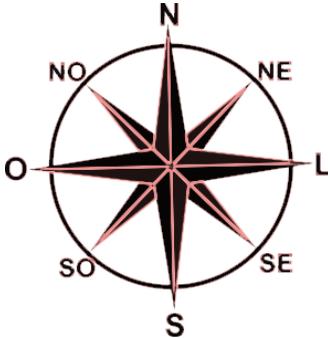
Figura 44 - Rosas dos ventos – Norte, Sul, Leste e Oeste



Fonte: o autor (2015).

Todavia, caso tenha-se mais de seis rodovias entrando na área de estudo, o ideal é que as viagens previstas na ZE sejam representadas, no mínimo, por oito centroides, conforme consta na Figura 45.

Figura 45 - Rosa dos ventos - Norte, Sul, Oeste, Leste, Nordeste, Noroeste, Sudeste e Sudoeste



Fonte: o autor (2015).

Nesse caso, são adicionadas ZEs no Nordeste, Noroeste, Sudeste e Sudoeste, além do Norte, Sul, Oeste e Leste. O motivo dessa recomendação é para que todas as viagens possam interagir com as rodovias contidas na área de estudo, integrar-se a elas e, conseqüentemente, às zonas internas, facilitando viagens vindas de todas as direções.

Além disso, como a integração entre as zonas dá-se por meio da rede rodoviária, é necessário ampliar a visão para os oito pontos cardiais. Todavia, tal iniciativa é recomendada quando a distância entre as ZEs é grande, a fim diminuir a chance de não se considerar movimentos de mercadorias importantes.

Nas ZEs, são representados e agregados todos os movimentos de transporte que ocorrem naquela região. A ligação da ZE à área de estudo é feita por meio de um arco virtual, que não representa uma rodovia real, pois a representação geográfica, normalmente, é apenas esquemática, como foi possível visualizar na Figura 45.

A montagem das ZIs depende do grau de detalhamento que se pretende atingir com o estudo. Elas são as regiões principais as quais se pretende conhecer e das quais se quer averiguar as rotas de tráfego de OD dos caminhões. Principalmente, objetiva-se visualizar qual o impacto dessas viagens em cada trecho rodoviário no contexto das áreas de descanso.

No caso das ZIs, recomenda-se utilizar camadas geográficas para defini-las, pois, como trata-se de um estudo macro de planejamento de transportes, a obtenção de dados torna-se mais tangível quando da utilização de regiões políticas, por exemplo, mesorregião, microrregião e municípios.

De acordo com Rodrigues (2014), no Brasil, normalmente, ao serem determinadas as zonas de tráfego em um estudo de planejamento, utiliza-se dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), principalmente no que se refere às subdivisões político-regionais, como estados, municípios, distritos, bairros e setores censitários.

De forma geral, para o caso do estudo sobre a implantação de áreas de descanso, recomenda-se utilizar camadas de municípios, pois é uma região política mais desagregada e, normalmente, de fácil obtenção de dados e informações – por exemplo, população, motorização, camada geográfica, entre outros. Pode-se obter a camada de municípios no portal do IBGE⁶ e visualizar uma amostra da camada de municípios do Brasil na Figura 46, na qual há um exemplo de divisão municipal – nesse caso, foi escolhida a Região Sul.

Figura 46 - Camada de Municípios



Fonte: o autor (2015).

⁶ <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/default_prod.shtm>. Acesso em: 2 fev. 2016.

4.1.6.2 Etapa 6.2: Definir centroides

Os centroides são representações ou agrupamentos simbolizados por um ponto que indica a origem ou o destino de uma viagem e estão contidos dentro de uma zona de tráfego. De forma geral, para cada zona de tráfego, tem-se um centroide correspondente e vice-versa. Quando se utiliza camadas geográficas em um estudo de transporte, é possível afirmar que um centroide é um ponto geográfico que representa uma determinada região de estudo, denominada zona de tráfego.

Esses pontos geográficos serão utilizados como OD de uma viagem. Assim, no método proposto, define-se como centroide um ponto geográfico que representa uma zona interna ou externa, podendo ser uma origem ou um destino de uma viagem.

No caso do estudo de áreas de descanso descrito neste trabalho, o principal objetivo da definição de um centroide é possibilitar a simulação de uma viagem da Zi (zona de origem) até a Zj (zona de destino), que são polos de atração e produção.

Uma rede de transportes é representada matematicamente por um grafo. Já um centroide é considerado um nó especial devido à sua característica de OD de uma viagem. Ele está relacionado a uma rede de transportes ou a um grafo por meio de conectares, os quais, por sua vez, são arcos especiais compostos por vértices. Eles representam a ligação entre as zonas e a rede viária.

Conforme mencionado, no método proposto, recomenda-se a utilização de uma camada geográfica de municípios como sendo a zona de tráfego; já no caso dos centroides, é recomendado que se utilize a camada geográfica de cidades disponível no portal do IBGE, no endereço supracitado.

Na Figura 47, é possível visualizar a camada de cidades do Brasil; e, na Figura 48, a camada de municípios e cidades do Rio Grande do Sul, isso como exemplo de sobreposição de camadas de municípios e de cidades.

Figura 47 - Camada de Cidades



Fonte: o autor (2015).

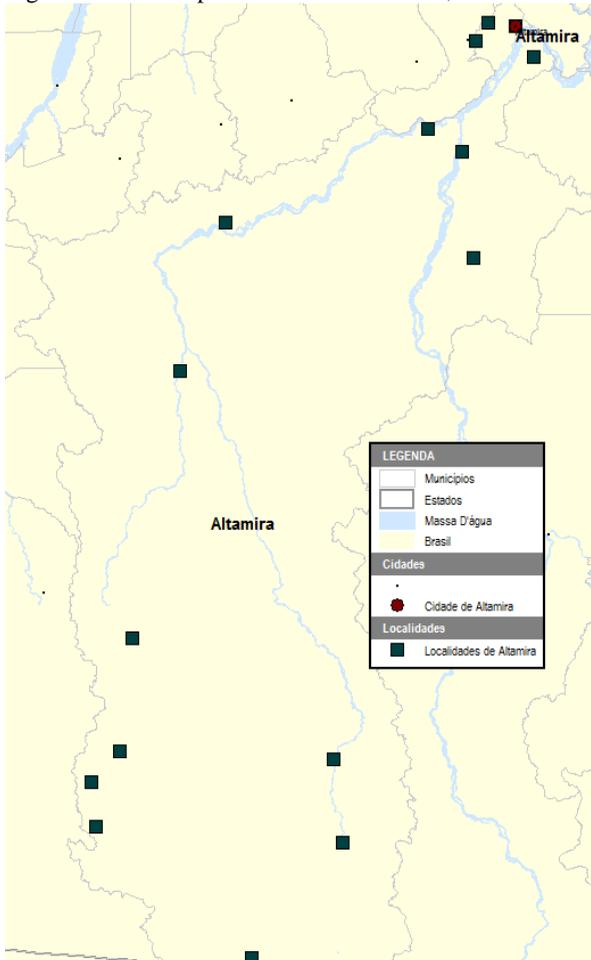
Figura 48 - Camada de Municípios - Cidades do Rio Grande do Sul



Fonte: o autor (2015).

Todavia, dependendo da região do Brasil que se está estudando, na implantação das áreas de descanso, é necessário utilizar a camada geográfica de localidades. Em alguns casos, as cidades, sedes urbanas dos municípios, ficam a uma distância muito grande da região que se quer focar no estudo. Por exemplo, pode-se citar o município e a cidade de Altamira, no estado do Pará, cuja sede localiza-se no extremo Norte (Figura 49), que está, aproximadamente, a uma distância de 730 km do extremo Sul do município.

Figura 49 - Município e cidade de Altamira, no Pará



Fonte: IBGE (2010). Elaboração: o autor (2015).

Nos casos em que a área de estudo for semelhante ao caso mostrado em Altamira, recomenda-se que a zona de tráfego e, conseqüentemente, o centroide sejam subdivididos por localidades e distritos.

4.1.7 Etapa 7: Elaboração e modelagem da rede rodoviária

No método apresentado, as definições da área de estudo, das zonas de tráfego e dos centroides estão relacionadas, diretamente, à elaboração da rede rodoviária. Essa etapa é uma das principais a ser desenvolvida, pois o objetivo do método é potencializar os estudos relativos à identificação e à priorização de trechos rodoviários que têm necessidade de implantação de áreas de descanso para motoristas de caminhões.

4.1.7.1 Etapa 7.1: Selecionar, filtrar e conectar trechos rodoviários

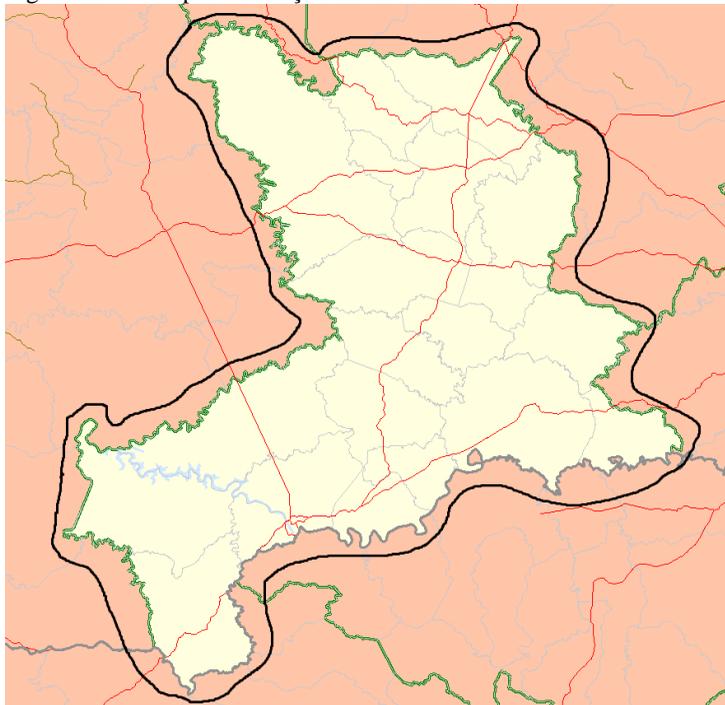
Durante a escolha da área de estudo, é fundamental considerar quais rodovias que cruzam o cordão externo serão escolhidas; por exemplo: somente federais, ou federais e estaduais, ou filtrar algumas rodovias federais etc.

Conforme já explicado, para selecionar as rodovias contidas dentro do cordão externo, é necessário segmentá-las. Para isso, recomenda-se utilizar as funções espaciais contidas em ferramentas SIG, como dividir um segmento em tamanhos determinados ou, também, considerar o cruzamento com outras camadas geográficas, como pontes ou rios.

Além disso, ao utilizar camadas políticas para definir a área de estudo, essa seleção nas rodovias torna-se mais fácil, pois, por exemplo, cada estado possui suas próprias rodovias estaduais; já as federais possuem divisão e contagem quilométrica própria em cada estado.

Na Figura 50, é possível visualizar um exemplo da elaboração da rede rodoviária considerando a área de estudo.

Figura 50 - Exemplo de seleção da rede rodoviária



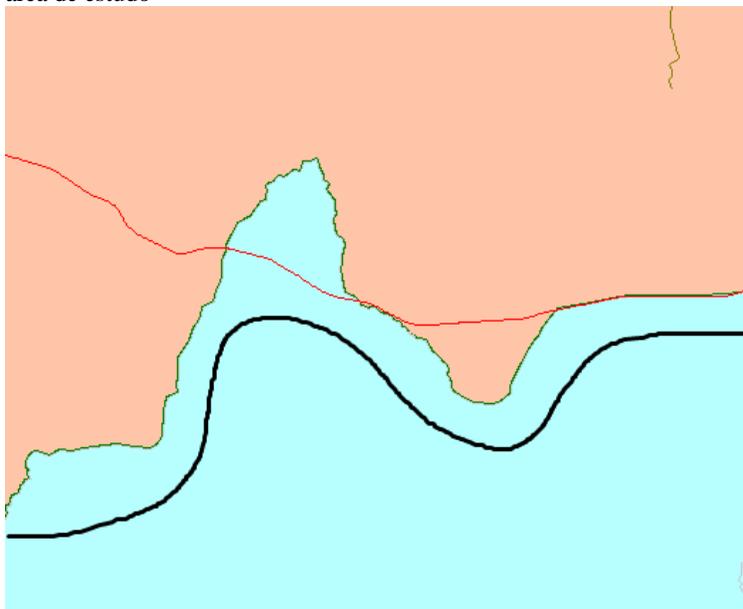
Fonte: o autor (2015).

Assim, uma das atividades dessa etapa deve ter, como foco, o filtro espacial a ser aplicado nos trechos rodoviários que estão no extremo da área de estudo, ou seja, no cordão externo.

Todavia, é necessário ponderar nos filtros e nos cortes da malha rodoviária durante a criação da área de estudo, quando for utilizada uma camada geográfica de referência. Há algumas exceções em que os trechos rodoviários localizados fora da área da camada política devem ser selecionados obrigatoriamente e não podem ser descartados – por exemplo, no entorno de uma determinada área política, pode haver trechos rodoviários que possuem uma influência direta sobre ela, além de rodovias que saem, temporariamente, de um município, mas que, em poucos quilômetros, voltam a cruzá-lo.

Na Figura 51, há um exemplo em que um trecho rodoviário poderia ser descartado de forma errônea se, simplesmente, fosse utilizada uma função espacial de corte atrás da intersecção da camada política.

Figura 51 - Exemplo de trecho rodoviário com saída e entrada sequenciais na área de estudo

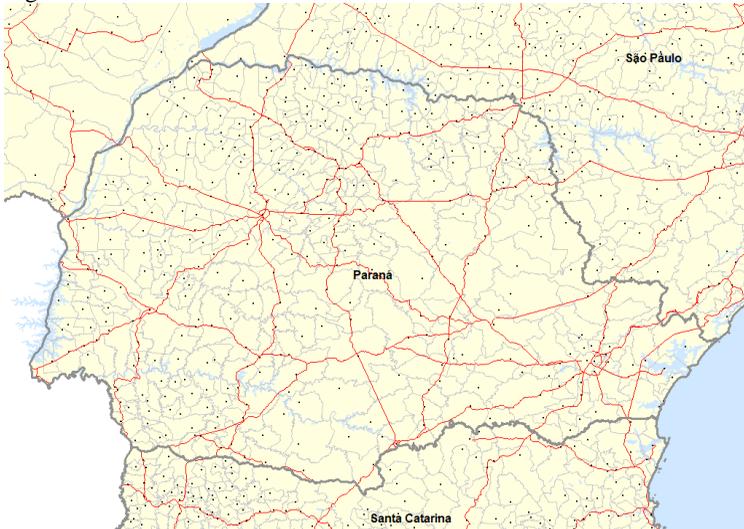


Fonte: o autor (2015).

Assim, todas as rodovias que estão dentro da área selecionada devem ser usadas, *a priori*. Porém, também é possível realizar novo filtro – por exemplo, deixando somente rodovias federais que cruzam uma determinada mesorregião.

De acordo com o DNIT (2015), a quilometragem das rodovias federais não é acumulada de um estado da federação para outro, sendo zerada na divisão de cada estado. Os seus sentidos seguem sempre o mesmo sentido definido no Sistema Nacional de Viação (SNV). Na Figura 52 é possível visualizar um exemplo de Rodovias Federais do Brasil com foco no estado do Paraná.

Figura 52 - Rodovias Federais do estado do Paraná

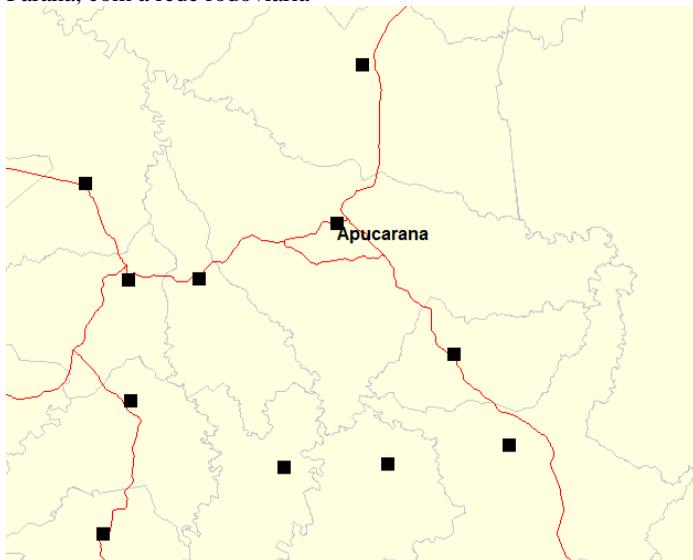


Fonte: o autor (2015).

O relacionamento entre as zonas de tráfego, os centroides e a rede rodoviária é um dos principais pontos que devem ser observados na elaboração da rede rodoviária, bem como na seleção das zonas e dos centroides.

Tendo isso em vista, é necessário garantir a conectividade entre os trechos rodoviários e centroides. Um algoritmo de caminho mínimo só será eficiente se a rede rodoviária estiver ligada, diretamente, a Z_i e Z_j por meio de seus centroides, origem e destino, respectivamente. Na Figura 53, é possível visualizar uma conexão correta entre uma possível Z_i e seu centroide com a malha rodoviária.

Figura 53 - Exemplo de conexão entre o município e a cidade de Apucarana, no Paraná, com a rede rodoviária



Fonte: o autor (2015).

Caso aconteça uma desconexão nos filtros realizados na rede rodoviária, ocorre uma interrupção do fluxo de veículos, o que, para o modelo matemático, é sinal de erro, pois são primordiais conexões perfeitas.

Como comentado, no método proposto, recomenda-se a utilização de referências, como as divisões estadual e municipal para o filtro da malha rodoviária, respeitando o cordão externo definido anteriormente e, conseqüentemente, os limites expostos pelas ZIs.

Todavia, com relação à rede rodoviária que representa a ligação com as ZEs, não é necessário o mesmo cuidado, pois o importante é existir um arco virtual que ligue a ZE ao extremo de arco mais próximo do cordão externo.

4.1.7.2 Etapa 7.2 Definir os trechos e segmentos rodoviários

Nessa etapa, serão determinadas as regras para a definição dos trechos homogêneos e a segmentação das rodovias que serão utilizadas na modelagem da rede de transportes a serem usadas no estudo de planejamento viário para a implantação de áreas de descanso.

Basicamente, um trecho rodoviário é formado por uma extensão da rodovia que possui características homogêneas. Um segmento rodoviário, neste trabalho, será definido como uma extensão da rodoviária em que, nos extremos, possa existir um posto fixo ou móvel de fiscalização da jornada de trabalho do caminhoneiro.

Além das preocupações com a conexão da rede rodoviária, é necessário que ela possua dados alfanuméricos mínimos e de qualidade para que seja possível definir os trechos homogêneos e os segmentos rodoviários.

De acordo com Silva (2012), um trecho homogêneo pode ser caracterizado por propriedades físicas e operacionais das rodovias ou, também, por rodovias uniformes, a divisão do trecho pode ser feita entre interseções.

Segundo ASSHTO (2010), quando uma rodovia não for uniforme, sua divisão em trechos homogêneos é dada pelas seguintes propriedades:

- curva horizontal: sendo início ou fim da curva;
- curvas côncavas, convexas ou ponto de inflexão entre dois greides: ponto de interseção nas curvas;
- faixas adicionais: início ou fim da faixa; e
- curtos segmentos de pista dupla sem divisão central física.

De acordo com Silva (2012), é necessário criar um novo trecho quando umas das características a seguir mostrar mudanças:

- volume diária médio anual (VDMA);
- largura de faixa;
- largura de acostamento;
- tipo de revestimento do acostamento;
- densidade de acessos;
- índice de obstáculos laterais;
- presença/ausência de guias sonoras centrais;
- presença/ausência de iluminação; e
- presença/ausência de fiscalização eletrônica.

A definição de trecho homogêneo pode variar dependendo do estudo, dos objetivos e das metas. Em alguns estudos, são consideradas as características físicas; em outros, somente as operacionais; ou, ainda, de forma geral, podem ser consideradas ambas as características.

Outro ponto fundamental a ser levado em conta na definição de um trecho são os dados geográficos das rodovias. Normalmente, as

camadas geográficas de rodovias são desenvolvidas considerando arcos com algumas características idênticas.

Conforme já explicado, na segmentação geográfica, é necessário utilizar uma ferramenta SIG para facilitar a definição dos trechos e segmentos rodoviários. Por exemplo, ao usar funções espaciais que conseguem relacionar camadas, entre elas, destaca-se a intersecção. Citando caso análogo, é possível fazer o relacionamento entre a camada de municípios e a de rodovias. Logo, como regra geral para a divisão dos trechos, considera-se as características físicas e/ou operacionais.

No método proposto, as características primordiais a serem consideradas são as ligações entre os estados da Federação, os municípios, o tipo de pavimentação – principalmente separando os trechos pavimentados dos não pavimentados –, a mudança de sigla da rodovia ou, ainda, a intersecção com outras rodovias. Além dos atributos elencados para serem utilizados na definição dos trechos homogêneos, são necessários os de velocidade média, isso para percorrer o trecho em cada sentido no caso de rodovia duplicada; e, também, a extensão do trecho.

Para formar um segmento no caso de a malha rodoviária já ter sido estratificada por trechos homogêneos que consideraram a característica de limite municipal, é necessário apenas filtrá-los e agrupá-los. Na Figura 54, é possível visualizar um trecho rodoviário que possui essa segmentação municipal.

Figura 54 - Trecho rodoviário com segmentação municipal



Fonte: o autor (2015).

Então, no método proposto, os principais atributos alfanuméricos necessários nos trechos rodoviários podem ser resumidos em:

- sigla da rodovia;
- estado;
- município;
- velocidade média (km/h);
- extensão;
- quilômetro inicial e quilômetro final;
- tipo de pista;
- classificação;
- jurisdição; e
- SNV.

Todavia, ainda é possível adicionar outros fatores que dependem das características operacionais ou físicas, conforme já mencionado.

As rodovias tratadas até o momento são aquelas ditas reais, que existem fisicamente; mas, também, destaca-se as que ligam as ZEs à área de estudo. Os trechos que conectam as rodovias contidas dentro da área de estudo às ZEs são denominadas rodovias virtuais. Elas devem possuir valores médios que sejam representativos e coerentes com o que se está pretendendo representar. Tendo isso em vista, na elaboração da camada geográfica da malha rodoviária, é necessário dividi-la em trechos homogêneos.

Na construção dos trechos, recomenda-se, em caso de estudo de planejamento para a implantação de áreas de descanso, alguns cuidados com relação à extensão e, principalmente, ao tempo de percurso. O método proposto recomenda que o tempo para percorrer o trecho não ultrapasse o Tempo Máximo de Direção Contínuo (TMC), definido em Lei, dado que, caso contrário, pode-se ter número incontrolável de paradas dentro de um mesmo trecho, o que dificulta os próximos passos e as análises a serem feitas posteriormente. Seguindo essa premissa, seria possível, no máximo, haver uma parada dentro de cada trecho rodoviário.

Além de dividir a malha rodoviária em trechos homogêneos para realizar os estudos relativos à implantação de áreas de descanso, é necessário segmentá-la. Nessa subetapa do método, define-se qual será o segmento de rodovia. Para a elaboração e a formação dele, é necessário um conjunto de trechos rodoviários homogêneos.

A segmentação da malha rodoviária facilita a análise dos resultados oriundos do método proposto, pois deve ocorrer considerando

pontos de interesse que podem ser utilizados como áreas de descanso ou, ainda, postos de fiscalização.

De acordo com o Ministério dos Transportes (2015), os locais de parada ou descanso podem ser:

- postos de combustíveis;
- hotéis/alojamentos/pousadas;
- restaurantes; e
- pontos de parada e apoio.

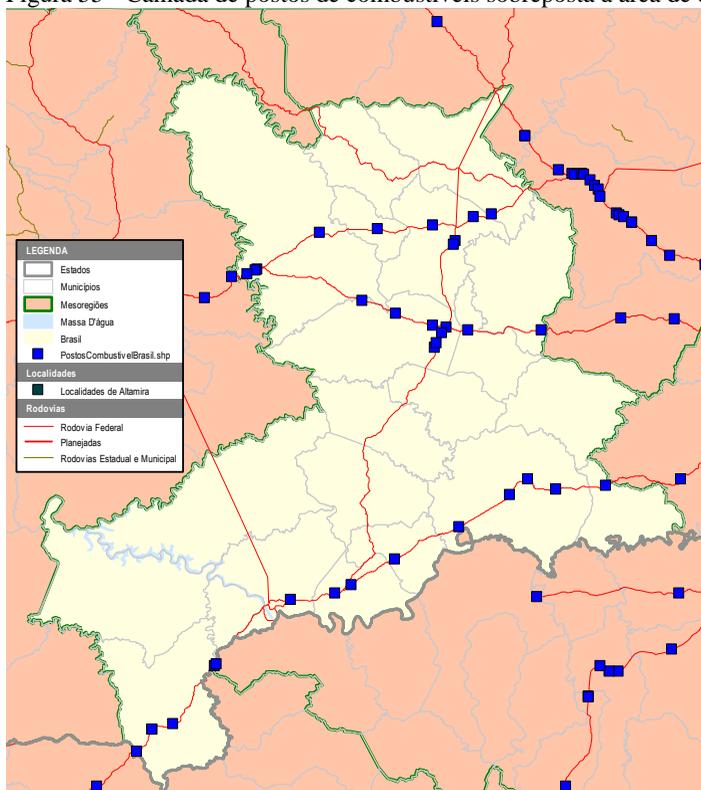
Além dos locais citados pelo Ministério dos Transportes (2015), há outros que podem ser considerados tanto para parada ou descanso quanto para implantação de posto de fiscalização. A instalação desses postos visa assegurar o cumprimento da Legislação e, conseqüentemente, apoiar a melhoria da segurança viária. Os pontos complementares podem ser:

- postos de polícia;
- postos de balanças;
- postos de pedágios;
- postos de apoio; e
- postos de fiscalização existentes.

Todos esses locais são importantes nessa etapa do método, visto que serão úteis para a segmentação da malha rodoviária.

Na Figura 55, é possível visualizar a camada de postos de combustíveis sobreposta à área de estudo.

Figura 55 - Camada de postos de combustíveis sobreposta à área de estudo



Fonte: o autor (2015).

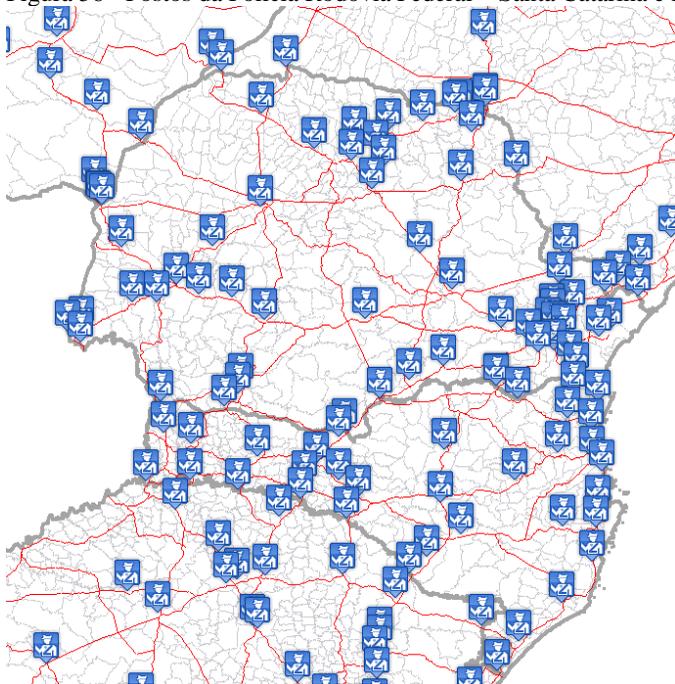
A premissa básica para que esses locais possam ser utilizados como referência na segmentação da malha é de que exista uma camada geográfica, uma vez que, ao ser utilizada uma ferramenta SIG para esse fim, ela deve ser considerada. Além disso, esses locais vão interferir na definição dos trechos.

Todavia, não basta, apenas, utilizar uma dessas camadas geográficas; é necessário realizar algumas análises e alguns filtros. Por exemplo, é preciso avaliar se o posto de combustível ou qualquer um dos possíveis locais de áreas de descanso está credenciado ou se atende às exigências da Portaria n. 994/2015, do Ministério do Trabalho, no caso do Brasil. Outros pontos a serem avaliados são se o local possui estacionamento ou se, na área, pode ser construído um estacionamento para caminhões.

De acordo com Rizzotto (2015), em matéria publicada no *site Estradas*, como não existem pontos de paradas credenciados no Brasil, irão ocorrer cada vez mais acidentes, pois os motoristas e suas empresas sempre vão alegar que não é possível cumprir a Legislação. Além disso, principalmente a Polícia Rodoviária Federal está exposta, pois, mesmo sabendo que o motorista está dirigindo em excesso de jornada, nada pode fazer.

Entre os possíveis locais fixos para a fiscalização da Legislação, os postos de polícia podem ser considerados os mais interessantes, principalmente na malha rodoviária federal, pois há um considerável número de postos espalhados pelas estradas brasileiras, como é possível verificar na Figura 56.

Figura 56 - Postos da Polícia Rodovia Federal – Santa Catarina e Paraná



Fonte: o autor (2015).

Além disso, nesses postos há pontos de apoio que podem ou que são, normalmente, usados para retenção de veículos, conforme consta na Figura 57.

Figura 57 - Posto da PRF com pátio de retenção em Palhoça – Santa Catarina



Fonte: Google (2015).

A escolha de quais critérios serão considerados para a definição da segmentação irá depender da área de estudo. Por exemplo, caso seja uma região com poucas rodovias federais e, na maioria, composta por rodovias estaduais e municipais, provavelmente não será interessante utilizar, como referência, postos da Polícia Rodoviária, pois eles possivelmente são espaçados geograficamente ou inexistem.

Nesse caso, os locais citados anteriormente devem ser considerados nessa segmentação – como restaurantes que possuam estacionamento para caminhões e uma infraestrutura mínima para apoiar a fiscalização. Todavia, o ideal é considerar, como regra geral, a divisão entre pontos que possuam uma infraestrutura adequada para fiscalização, como os postos da PRF já mencionados.

Assim, no Brasil, os extremos do segmento mais recomendados são os postos da Polícia Rodoviária Federal ou da Polícia Rodoviária Estadual (PRE). Na Figura 58, é possível ver um exemplo de segmentação na BR101, em Santa Catarina.

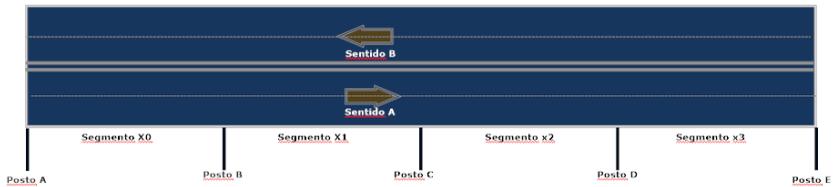
Figura 58 - Exemplo de segmentação da BR101



Fonte: o autor (2015).

Assim, cada segmento rodoviário fiscalizado é delimitado por dois postos; e os parâmetros e as análises são feitos por trechos e agrupados por segmento. No caso das rodovias duplicadas, é necessário executar essa segmentação por sentido do tráfego, cujo esquema pode ser visualizado na Figura 59.

Figura 59 - Segmentação em rodovias de pista duplicada



Fonte: o autor (2015).

Os dados devem ser consolidados para os casos de pista simples nos quais não existam restrições à transposição de pista de um sentido para o outro, como é possível visualizar no rascunho para a segmentação de rodovias simples na Figura 60.

Figura 60 - Segmentação em rodovias de pista simples



Fonte: o autor (2015).

4.1.8 Etapa 8: Conexão da rede em grafo

De acordo com Ziviani (2011), é comum, nas áreas de transportes e computação, a necessidade de considerar um conjunto de conexões entre pares de objetos. As relações entre eles podem responder a questões, como: existe um caminho para ir de um objeto para outro? Qual a menor distância entre um objeto e outro?

Durante um estudo de planejamento de transportes, é comum a demanda por encontrar as alternativas de menor impedância, principalmente nas etapas de montagem da rede e alocação de viagens. É nessa etapa do método proposto que se prepara a rede de transporte para executar os modelos matemáticos de busca dos melhores caminhos, possibilitando, dessa maneira, rodar os algoritmos que realizarão a alocação de viagens. Além disso, será feita a representação matemática em formato de grafos da rede de transportes.

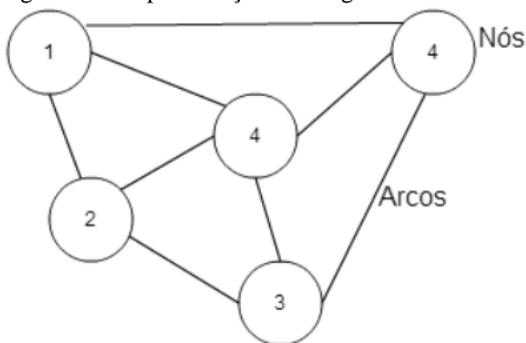
De acordo com Goldbarg e Luna (2005), um grafo pode ser definido como uma estrutura abstrata que objetiva representar um conjunto de objetos, denominados nós, e seus relacionamentos por meio

de arcos. A representação matemática de um grafo pode ser apresentada em notação da seguinte forma:

$$G=(N,A) \qquad \text{Equação 55}$$

Onde N é o conjunto de nós da estrutura e A o conjunto de arcos ou ligações entre os nós. Na Figura 61, é possível visualizar um exemplo de um grafo.

Figura 61 - Representação de um grafo



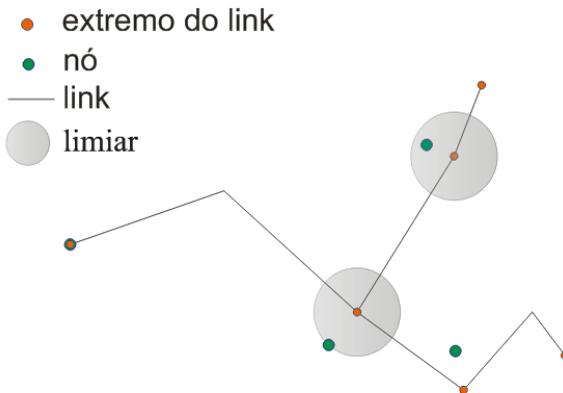
Fonte: o autor (2015).

Para o contexto do método, é importante relembrar que um grafo é composto, basicamente, por três elementos:

- nós (vértices): conjunto de vértices que representam os centroides ou os extremos dos arcos.
- arcos (*links*): conjunto de *links* que representam um trecho rodoviário; e
- conexões: conjunto de ligações ou relacionamentos entre nós e arcos. Ligam os centroides ao grafo e, também, realizam as ligações entre os próprios arcos por meio de seus extremos.

O grafo da rede de transportes é desenvolvido a partir de uma análise espacial das camadas geográficas. Basicamente, o que será feito, nesse caso, é a interpretação dos dados geográficos, a fim de transformá-los em um grafo por meio de uma análise espacial de proximidade (Figura 62).

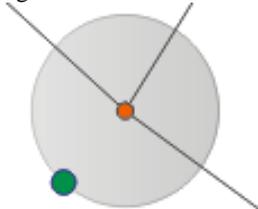
Figura 62 - Representação dos elementos de uma rede



Fonte: o autor (2015).

É comum, em uma camada geográfica de rodovias, a desconexão do vértice que representa o centroide dos extremos dos *links*, ou seja, eles não estarem na mesma coordenada. Esse tipo de situação pode inviabilizar a realização das rotas encontradas pelos algoritmos de caminho mínimo, visto que não existirá conexão entre esses arcos e nós, como é possível visualizar na Figura 63.

Figura 63 - Limiar de conexão



Fonte: o autor (2015).

Existem, basicamente, duas formas de resolver esse problema. A primeira é editar os dados geográficos, movendo os extremos dos *links* ou o centroide, e fazer coincidir as coordenadas. Todavia, a forma recomendada no método e não comum em ferramenta SIG voltada para transportes é a definição de uma heurística juntamente com uma análise espacial. Assim, ao criar um limiar de conexão entre o centroide e o extremo de *link* mais próximo, em que o limiar seja inferior a 20 km, considera-se o centroide conectado ao extremo de *link*. Esse parâmetro de 20 km é baseado em diversas simulações de conexão utilizando

idades e rodovias do Brasil e esse valor mostrou-se relevante, nesse caso, por conseguir maior número de conexões.

Ao utilizar as camadas geográficas para a montagem da rede, tem-se, basicamente, a seguinte relação: para esse método, os nós do grafo são as cidades, os extremos de *links* das camadas de rodovias; já os arcos, as vias que podem ser vistas no mapa – as não visíveis são consideradas *links* virtuais. A cada arco, são associadas informações que permitirão calcular a impedância para um caminho mínimo entre dois nós.

4.1.9 Etapa 9: Realizar a geração da matriz unitária

Uma matriz unitária é comumente utilizada em estudos sobre planejamento de transportes para que seja possível realizar alocações por meio de ferramentas de simulações de caminhos mínimos, mesmo não possuindo os dados de demanda de tráfego.

Como o objetivo não é saber qual a quantidade de viagens entre cada zona ou a quantidade de mercadorias transportadas, uma matriz que represente uma única viagem é suficiente para o método, posto que o propósito é conhecer quais os trechos rodoviários que serão utilizados entre cada par OD. Assim, entende-se por viagens todo e qualquer caminho que ligue uma zona de Origem a uma zona de Destino.

No método proposto, é utilizada a matriz unitária para relacionar e distribuir as viagens entre as zonas, na combinação entre todas elas, admitindo-se como fluxo o número um. Para os pares OD, deve ser adotado o fluxo vazio, pois não há razão, neste estudo, para existir fluxo entre eles, visto que o objetivo não é trabalhar com viagens dentro da mesma cidade.

Na Figura 64, é possível ver um modelo de representação de uma matriz indicando o posicionamento das zonas de origens e destinos.

Figura 64 - Modelo de representação de uma matriz

$$A_{m,n} = \begin{matrix} & \text{Destino} \\ \text{Origem} & \begin{bmatrix} a_{1,1} & a_{1,2} & a_{1,3} & \dots & a_{1,n} \\ a_{2,1} & a_{2,2} & a_{2,3} & \dots & a_{2,n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m,1} & a_{m,2} & a_{m,3} & \dots & a_{m,n} \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Fonte: o autor (2015).

Uma matriz unitária no método proposto é sempre do tipo quadrada. Ela pode ser definida como um tipo especial de matriz, pois possui sempre o mesmo número de linhas e colunas. Esse requisito é importante, porque o objetivo é poder realizar os caminhos mínimos e a alocação de todas as zonas para todas as zonas.

Com a lista de zonas de tráfego já definidas, o processo de elaboração de matriz unitária é considerado simples, tendo em vista que basta fazer a distribuição $m \times n$ das zonas de tráfego, obtendo, assim, a matriz $A_{m,n}$ contendo as zonas de tráfego, como é possível visualizar no exemplo da Figura 65.

Figura 65 - Matriz unitária das zonas de tráfego

		Destinos		
		z1	z2	z3
Origens	z1	*	1	1
	z2	1	*	1
	z3	1	1	*

Fonte: o autor (2015).

4.1.10 Etapa 10: Gerar a árvore de caminhos mínimos

Após a definição da área de estudo, das zonas de tráfego e dos centroides; a modelagem da rede rodoviária; a conexão dos centroides e *links*; a geração do grafo; e, também, a geração da matriz unitária, é o momento de gerar a árvore de caminhos mínimos. O que se pretende, nessa etapa, é encontrar quais são os caminhos mínimos que cada centroide de OD irão utilizar na malha rodoviária. Portanto, trata-se de

uma etapa que necessita de dados com qualidade, já elaborados e tratados nas atividades anteriores.

Para cada cenário elaborado que possuir modificações na infraestrutura por meio de investimento em obras, é necessário gerar uma árvore de caminho mínimo; assim, consequentemente, o grafo é gerado.

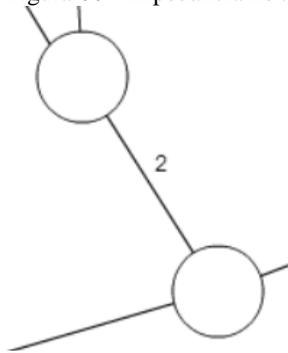
A matriz unitária, nessa etapa do método, será utilizada para realizar a geração dos caminhos mínimos. Dessa forma, para cada Par OD definido na matriz, será realizada a busca pelo caminho mínimo, cujo objetivo é encontrar as possíveis rotas utilizadas pelos caminhoneiros.

Na geração da árvore, é necessário utilizar a rede rodoviária e os centroides já transportados para um grafo. Existem *softwares* que fazem, automaticamente, esse trabalho de transformação em grafo; então, para o usuário, tal processo é transparente. Alguns sistemas que trabalham com grafos ou alocações de viagens voltadas para transporte são Transcad, ArcGIS network, Gelphi, SisLog e SIGSEP, conforme mencionado.

Para realizar um estudo de planejamento de implantação de áreas de descanso, recomenda-se conhecer a teoria de grafos, a fim de entender como ocorre a busca de caminhos mínimos, já que, também, é possível utilizar *softwares* matemáticos para realizar a busca pelo caminho mínimo – por exemplo, o Gams e Gelphi.

Uma atividade necessária para a geração da árvore é referente à escolha da impedância a ser utilizada, a qual é o valor que será imputado ao *link* com o objetivo de informar, ao grafo, qual é o valor necessário ao se deslocar de um extremo do *link* até o outro, conforme demonstrado na Figura 66.

Figura 66 - Impedância no link



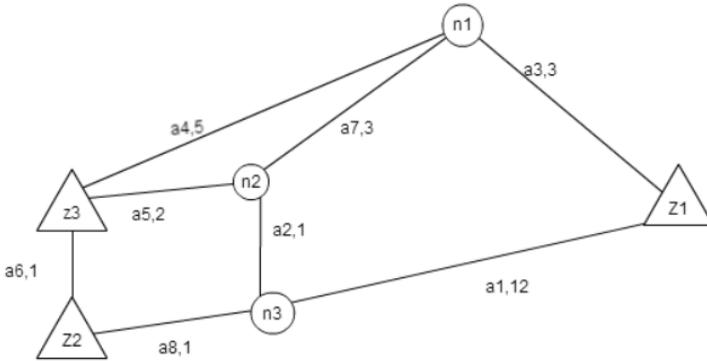
Fonte: o autor (2015).

A busca por caminhos mínimos, normalmente, utiliza as impedâncias de distância ou tempo, sendo possível utilizar outras, entre as quais se pode citar custo operacional e custo logístico. No método proposto, é recomendado o uso da impedância de tempo – é importante ressaltar, no entanto, que o objetivo mais importante, nessa etapa, é conhecer os *links* utilizados em cada caminho e o seu tempo, independentemente da impedância utilizada.

Essa impedância é mais interessante que a impedância de distância para o método proposto porque considera a velocidade média operacional no trecho. Assim, existe uma relação da velocidade média de um trecho rodoviário com as características físicas e operacionais. Além disso, um transportador ou embarcador objetiva, normalmente, que sua mercadoria chegue o mais rápido possível ao destino. Desse modo, é mais importante percorrer trechos mais rápidos que trechos mais curtos.

O processo de busca dos caminhos mínimos ocorre por meio de um grafo, e, então, após registrar as informações de conexões e impedâncias nele, é utilizado um algoritmo de busca de menor caminho, que irá trabalhar com apenas grafos com valores positivos. É possível visualizar um exemplo de grafo valorado na Figura 67.

Figura 67 - Exemplo de grafo valorado



Fonte: o autor (2015).

O que se pretende, nesse momento, é encontrar o caminho mais curto. Sendo x_1 e x_2 dois vértices do grafo $G = (V, A)$, o menor caminho entre x_1 e x_2 é uma determinada sequência de arcos que passa por n vértices distintos, ligando x_1 a x_2 de forma a acumular a menor impedância – onde c_{ij} é a impedância do arco (i, j) ; e $i(t)$, a impedância total do caminho p de x_1 para x_2 na rede G .

De acordo com Goldbag e Luna (2005), pode-se formular o problema da seguinte forma:

$$\sum_{(i,j) \in A} C_{i,j} x_{i,j} \tag{Equação 53}$$

Sujeito a:

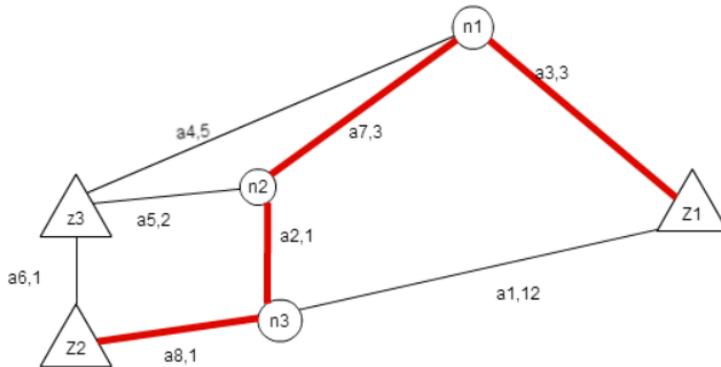
$$\sum_{(i,j) \in A} x_{i,j} - \sum_{(k,i) \in A} x_{k,i} = \begin{cases} -1 & \text{se } i=1 \\ 0 & \text{se } i \neq 0 \text{ e } i \neq d \\ +1 & \text{se } i=d \end{cases} \tag{Equação 54}$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad (i,j) \in A$$

Apesar de existir diversos algoritmos com a finalidade de encontrar caminhos mínimos – por exemplo, o Algoritmo de Bellman-Ford ou o Algoritmo A^* –, no método proposto, foi escolhido o Algoritmo Dijkstra, já apresentado na fundamentação teórica, por ser de fácil implementação e utilização. Todavia, é possível utilizar qualquer outro que encontre o mesmo caminho mínimo.

Na Figura 68, é possível visualizar o grafo apresentado na Figura 67, destacando-se um caminho mínimo encontrado.

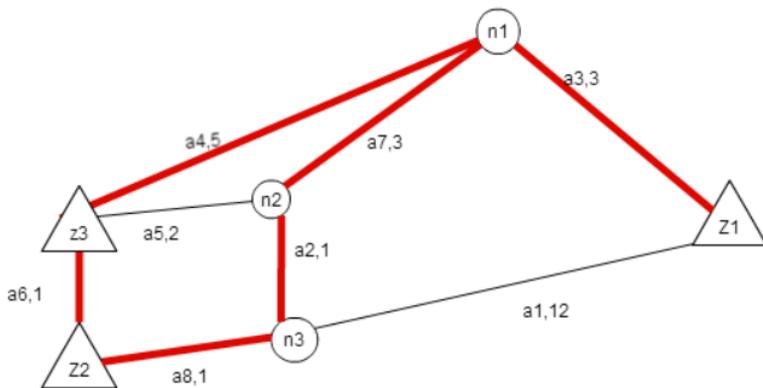
Figura 68 - Exemplo de caminho mínimo entre z1 e z2.



Fonte: o autor (2015).

Já na Figura 69, é possível visualizar a árvore de caminhos mínimos produzida entre z1, z2 e z3.

Figura 69 - Árvore de caminhos mínimos



Fonte: o autor (2015).

Na Figura 70, é possível visualizar a lista de arcos percorridos entre cada par OD e o tempo de viagem em horas.

Figura 70 - Lista dos arcos de cada caminho mínimo

Pares O/D		Arcos							
		a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8
Pares O/D	z2-z3						x		
	z2-z1		x	x				x	x
	z1-z3			x	x				

Pares OD		Arcos		
		z2-z1	Arcos	Impedância
Pares OD	z2-z1	a8	1	
		a2	1	
		a7	3	
		a3	3	

Pares OD		Arcos		
		z3-z1	Arcos	Impedância
Pares OD	z3-z1	a4	5	
		a3	3	

Fonte: o autor (2015).

Na próxima etapa, será desenvolvida a matriz de tempo de viagem a partir dos caminhos encontrados.

4.1.11 Etapa 11: Elaboração da matriz de tempo de viagem – MTV

A matriz de tempo de viagem é formada pelo conjunto da somatória das impedâncias dos arcos que compõem o caminho mínimo de cada Par OD. Sendo assim, é possível formular a seguinte equação:

$$i(t) = \sum_{(i,j) \in A} C_{i,j} x_{i,j} \tag{Equação 56}$$

Onde o menor caminho entre x1 e x2 é uma determinada sequência de arcos que passa por n vértices distintos, ligando x1 a x2 de forma a acumular a menor impedância – onde cij é a impedância do arco (i,j); e i(t), a impedância total do caminho.

Então, dispondo da árvore dos caminhos mínimos, é possível identificar e somar os tempos totais para percorrer cada Par OD, como é possível verificar na Figura 71.

Figura 71 - Somatório de cada arco dos tempos de viagem por par OD

Pares O/D		Arcos								$\sum_{i,j} x_{i,j}$
		a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	
Pares O/D	z2-z3						1			1
	z2-z1		1	3				3	1	8
	z1-z3			3	5					8

Fonte: o autor (2015).

De posse desses dados, é possível gerar a matriz de tempos de viagens, conforme consta na Figura 72.

Figura 72 - Matriz de tempos de viagens

		Destinos		
		z1	z2	z3
Origens	z1	*	8	8
	z2	8	*	1
	z3	8	1	*

Fonte: o autor (2015).

4.1.12 Etapa 12: Definição e filtragem das viagens longas

Após a geração da matriz de tempo de viagens, é possível realizar a definição e a filtragem das viagens, para a qual, no presente método, devem ser consideradas aquelas de média e longa duração. Isso justifica-se porque o objetivo é garantir que a Legislação possa ser cumprida pelos caminhoneiros e que, conseqüentemente, seja possível efetivar a fiscalização.

Assim, o que se pretende é identificar os melhores trechos para a implantação das áreas de descanso, considerando, principalmente, as viagens entre as zonas da área de estudo, e garantir a sua aderência aos parâmetros legais. O principal parâmetro legal a ser considerado, nessa etapa, é o tempo máximo de direção contínuo, TMC, lembrando que, na legislação brasileira, o TMC é de 5,5 horas.

Portanto, todos os Pares OD da matriz de tempos de viagens que forem inferiores ou iguais ao TMC devem ser desconsiderados na análise do presente método, sendo necessário o descarte das viagens curtas da matriz unitária para dar continuidade à análise do estudo.

A partir dessa etapa, para facilitar as análises, serão utilizadas duas classificações para os tipos de viagens, a saber: viagens longas e viagens curtas. Entende-se viagens curtas como aquelas que são menores ou iguais ao TMC; e, viagens longas, como todas as demais.

Dessa forma, a primeira atividade é definir, entre as viagens da matriz de tempo de viagem, quais serão consideradas viagens curtas e quais serão consideradas viagens longas. Em seguida, é necessário fazer a filtragem das viagens longas e deixar, na matriz, os tempos somente das viagens longas. Conseqüentemente, a listagem dos pares OD a serem considerados a partir desse momento deverá ser refeita.

Na Figura 73, é possível verificar a definição das viagens na matriz apresentada anteriormente.

Figura 73 - Classificação dos pares OD em viagem curta ou longa

TMC= 5,5	
Classificação de Viagens	
Curta	
Longa	

Pares O/D	Arcos								$\sum x_{i,j}$	Classificação
	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8		
z2-z3						1			1	Curta
z2-z1		1	3				3	1	8	Longa
z1-z3			3	5					8	Longa

Fonte: o autor (2015).

Na Figura 74, é possível verificar o filtro aplicado à matriz de tempo de viagem.

Figura 74 - Matriz de Tempo de Viagem filtrada

Origens	Destinos			
		z1	z2	z3
z1		*	8	8
z2		8	*	*
z3		8	*	*

Fonte: o autor (2015).

4.1.13 Etapa 13: Aplicar filtro na matriz unitária

Nessa etapa do método, será aplicado um filtro na matriz unitária, retirando as viagens que não precisarem ser alocadas na rede de transportes por ser consideradas curtas – e que, portanto, não extrapolam os limites da jornada de trabalho.

Na Figura 75, é possível visualizar a matriz unitária original.

Figura 75 - Matriz unitária original

		Destinos		
		z1	z2	z3
Origens	z1	*	1	1
	z2	1	*	1
	z3	1	1	*

Fonte: o autor (2015).

Na Figura 76, consta a matriz unitária filtrada.

Figura 76 - Matriz Unitária Filtrada

		Destinos		
		z1	z2	z3
Origens	z1	*	1	1
	z2	1	*	*
	z3	1	*	*

Fonte: o autor (2015).

4.1.14 Etapa 14: Alocação da matriz unitária filtrada

A etapa de alocação de viagens busca, nesse método, realizar o carregamento dos fluxos da matriz unitária filtrada na rede de transportes que foi transformada em um grafo. Dessa forma, a alocação realiza os carregamentos, fornece as respectivas informações de fluxo acumulado nos trechos e, também, possibilita a identificação dos pares OD alocados em cada trecho.

O método recomendado para esse tipo de estudo é método Tudo-ou-Nada, devido à sua facilidade de utilização e de análise de resultados, bem como porque o objetivo não é encontrar caminhos alternativos entre cada Par OD, devido a restrições.

De acordo com Valente (2014), o método de alocação Tudo-ou-Nada define que todas as viagens entre duas zonas de tráfego são feitas por meio do melhor caminho considerando a impedância escolhida e, então, desconsiderando quaisquer alternativas, independentemente da capacidade da via, alocando, assim, o fluxo no caminho escolhido.

A grande maioria dos estudos em nível macro acaba utilizando o método Tudo-ou-Nada e fazendo ponderações *a posteriori*. Como exemplo, pode-se citar o Plano Nacional de Logística de Transportes (PNLT), estudo de 2011; o Plano Nacional de Integração Hidroviária

(PNIH), estudo datado de 2013; e o Plano Nacional de Logística Portuária (PNLP), datado de 2015.

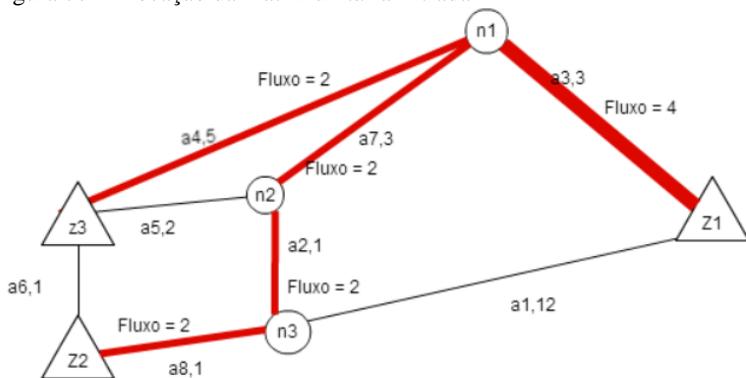
Todavia, em um estudo extremamente aprofundado, o método proposto suportaria outros métodos de alocação de viagens, pois o importante é encontrar as rodas utilizadas no carregamento da malha, contabilizar os fluxos e identificar a sua utilização pelos Pares OD nos trechos rodoviários.

Existem vários sistemas que possuem o módulo de alocação de viagens, como Transcad, ArcGIS network, SisLog e SIGSEP. Todavia, na sua grande maioria, existem várias outras funcionalidades complementares e detalhadas; então, é necessário que o usuário, no momento da utilização, saiba filtrar as configurações necessárias para rodar essa etapa do método.

Para realizar a alocação da matriz unitária, é necessário que a etapa de geração da árvore de caminhos mínimos tenha sido concluída, a qual utilizou a rede rodoviária e os centroides transportados para um grafo. Além disso, é necessário que a etapa de aplicação do filtro na matriz unitária já tenha ocorrido para evitar alocar pares desnecessários, ou seja, para que somente os Pares OD considerados de longa distância sejam alocados.

Isso posto, na Figura 77, é mostrada a rede alocada. É possível observar que os arcos a6, a7 e a5 receberam mais fluxo, o que significa que mais viagens irão priorizar e utilizar esses possíveis trechos rodoviários, deixando-os mais carregados.

Figura 77 - Alocação da matriz unitária filtrada



Fonte: o autor (2015).

Isso feito, é possível realizar uma análise pontual em cada trecho carregado com os fluxos. Essa avaliação visa identificar quais Pares OD foram alocados em cada trecho, bem como qual o seu fluxo total, como é possível verificar na Figura 78.

Figura 78 - Lista de fluxo nos arcos e a lista de pares OD por arco

		Fluxo Total	Pares OD
Arcos	a1	0	
	a2	2	z2-z1; z1-z2
	a3	4	z2-z1; z1-z2; z3-z1; z1-z3
	a4	2	z3-z1; z1-z3
	a5	0	
	a6	0	
	a7	2	z2-z1; z1-z2
	a8	2	z2-z1; z1-z2

Fonte: o autor (2015).

Esses dados serão utilizados na etapa Construção do *ranking* dos trechos alocados.

4.1.15 Etapa 15: Construção do *ranking* dos trechos alocados

O objetivo principal dessa etapa é criar um *ranking* contendo todos os trechos que foram alocados que será utilizado para definir quais trechos irão ter preferência no processo de otimização. Para construí-lo, a primeira atividade a ser desenvolvida é a de organizar a lista dos pares OD pelo fluxo alocado em ordem decrescente, obtendo-se, com isso, o primeiro resultado do *ranking*, como é possível visualizar na Figura 79.

Figura 79 - Lista de arcos ordenada pelo fluxo – decrescente

		Fluxo Total
Arcos	a3	4
	a2	2
	a4	2
	a7	2
	a8	2
	a1	0
	a5	0
	a6	0

Fonte: o autor (2015).

Entretanto, podem ocorrer empates nessa primeira atividade, ou seja, existe a possibilidade de que alguns trechos possuam a mesma quantidade de fluxo, como é o caso do exemplo apresentado na Figura 79, no qual os trechos a2, a4, a7 e a8 têm o mesmo fluxo alocado. Ressalta-se que os dados do *ranking* previstos como entrada para a otimização necessitam de uma ordem definida e distinta, pois, a partir desse momento, o processamento da otimização procurará chegar o mais próximo possível da solução ótima por meio da heurística aplicada.

A segunda atividade prevista é a de criação de critérios de desempate quando é necessário utilizar dados complementares para calibrar o *ranking*. Existem n de possibilidades para melhorar o ordenamento. Nesse trabalho, serão citadas algumas e recomenda-se, também, a sua ordem de utilização, que, destaca-se, no método proposto, é passível de mudanças.

Os dados coletados podem ser utilizados para desempatar o *ranking* e criar as devidas distinções:

- número de acidentes envolvendo caminhões;
- volume de tráfego de caminhões;
- população ponderada pelo PIB;
- dados de exportação e importação;
- frota de caminhões; e
- densidade demográfica.

A principal motivação dessa ordenação é referente à essência dos parâmetros legais, a saber, a segurança viária, ou seja, diminuir o número de acidentes garantindo que todas as viagens estarão cobertas por áreas de descanso.

Em seguida, deve-se definir os critérios de desempate e fazer a seleção dos arcos que estão empatados. Para exemplificação, será utilizada a rede mostrada até o momento.

Na Figura 80, é possível verificar o número de acidentes registrados em cada trecho rodoviário. Vale ressaltar que os dados usados no exemplo são fictícios.

Figura 80 - Fluxo total e acidentes de trânsito

		Fluxo Total	Acidentes
Arcos	a3	4	15
	a2	2	8
	a4	2	4
	a7	2	11
	a8	2	4
	a1	0	
	a5	0	
	a6	0	

Fonte: o autor (2015).

As próximas tarefas são organizar a lista de acidentes em ordem decrescente e realizar a análise e a ordenação somente nos pares OD que ficaram empatados. Assim, é possível reordenar os arcos que terão preferência na otimização e, conseqüentemente, melhorar o resultado do *ranking*, como é possível verificar na Figura 81.

Figura 81 - Fluxo total e acidentes de trânsito ordenado

		Fluxo Total	Acidentes
Arcos	a3	4	15
	a7	2	11
	a2	2	8
	a4	2	4
	a8	2	4
	a1	0	
	a5	0	
	a6	0	

Fonte: o autor (2015).

Se os empates persistirem – como é o caso do exemplo apresentado –, cujos arcos a4 e a8 continuam iguais, é necessário

recorrer ao próximo critério: demanda de tráfego. Para exemplificar, será considerado que foi realizada a geração de viagens, a distribuição de viagens e a alocação de viagens dos dados de demanda de tráfego; ou, ainda, que foram obtidos os dados de alocação nos trechos e alguns estudos, por exemplo, o PNLT. Dessa forma, obtém-se os valores de volume de tráfego por trecho, como é possível visualizar na Figura 82.

Figura 82 - Fluxo total, acidentes e volume de tráfego

		Fluxo Total	Acidentes	Volume de tráfego
Arcos	a3	4	15	100
	a7	2	11	300
	a2	2	8	700
	a4	2	4	340
	a8	2	4	800
	a1	0	*	*
	a5	0	*	*
	a6	0	*	*

Fonte: o autor (2015).

Ao observar os trechos a4 e a8, nota-se que a8 possui um volume maior; portanto, é necessário ordenar esses arcos pelo volume de tráfego, conforme exposto na Figura 83.

Figura 83 - Resultado final do *ranking*

		Fluxo Total	Acidentes	Volume de tráfego
Arcos	a3	4	15	100
	a7	2	11	300
	a2	2	8	700
	a8	2	4	800
	a4	2	4	340
	a1	0	*	*
	a5	0	*	*
	a6	0	*	*

Fonte: o autor (2015).

Caso o cenário escolhido seja aquele no qual já existem áreas de descanso, é necessário que o *ranking* seja ordenado, primeiramente, pelos arcos que possuem áreas; depois, deve-se manter a sequência normal apresentada anteriormente.

Com o resultado final do *ranking* em mãos, é possível iniciar o processo de otimização.

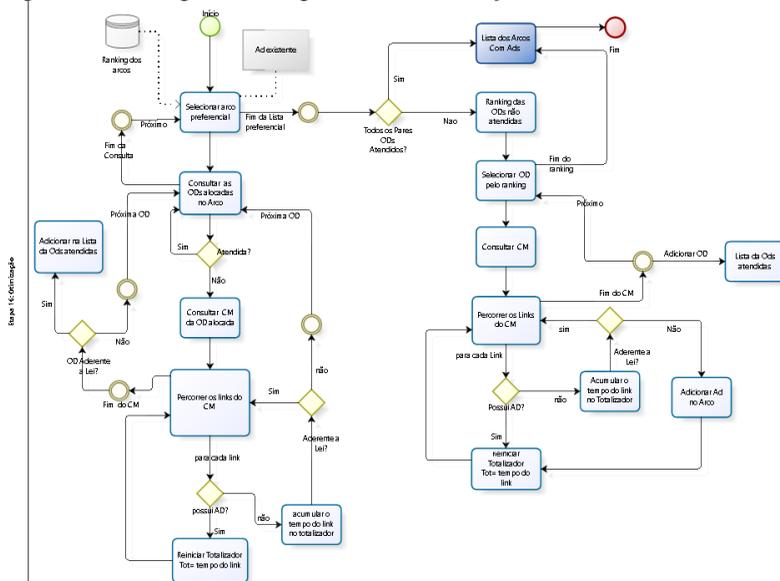
4.1.16 Etapa 16: Otimização

Essa etapa objetiva realizar o processo de otimização para a identificação dos trechos rodoviários que precisam de áreas de descanso para que as viagens das zonas de tráfego da área de estudo sejam consideradas aderentes aos parâmetros legais, isto é, para que todos os Pares OD que fazem viagens acima do TMC sejam atendidos por áreas de descanso.

Como resultado da etapa anterior, tem-se o *ranking* dos trechos alocados, e, de posse desses dados, é possível iniciar o processo de otimização.

Para que o processo de busca pelos trechos que necessitam de áreas de descanso seja eficiente, foi construído um algoritmo de otimização, o qual é apresentado na Figura 84.

Figura 84 - Fluxograma do algoritmo de otimização



Fonte: o autor (2015).

Conforme adiantado, o processo de otimização inicia-se com os dados do *ranking* dos arcos alocados.

- a. O primeiro passo é selecionar, da lista, o primeiro arco preferencial.

- b. Em seguida, é realizada uma consulta das OD que estão alocadas nesse arco.
- c. Para cada OD, é consultado o seu caminho mínimo.
- d. Deve-se percorrer o caminho mínimo desde a Origem até o Destino, verificando se cada *link* (arco) já possui área de descanso.
 - Se sim, deve-se reiniciar o totalizador com o tempo do *link* e seguir para o próximo *link*.
 - Se não, deve-se acumular o tempo do *link* no totalizador.
 - Também, deve-se saber se o totalizar está aderente à Legislação. Se não, deve-se ir para a próxima OD. Se sim, deve-se ir para o próximo arco *link* do caminho.
 - Caso o caminho tenha chegado ao fim, deve-se saber se a OD está aderente à Legislação. Se sim, adicionar a OD na lista das atendidas. Se não, deve-se ir para a próxima OD.
- e. Caso a lista de OD do arco tenha chegado ao fim, deve-se seguir para o próximo.
- f. Caso a lista de arcos preferenciais tenha chegado ao fim, deve-se verificar se todas as OD foram atendidas. Se sim, tem-se a lista dos arcos com áreas de descanso.
 - Se não, deve-se fazer o *ranking* das ODs não atendidas.
 - O próximo passo é selecionar a OD do *ranking* e consultar o seu caminho mínimo.
 - Em seguida, deve-se percorrer os *links* do caminho mínimo. Para cada *link*, é necessário saber se possui ou não áreas de descanso.
 - Se sim, deve-se reiniciar o totalizador com o tempo do *link* e ir para o próximo *link*.
 - Se não, deve-se acumular o tempo do *link* no totalizador.

potencializa a certeza de que as viagens especificadas podem ser fiscalizadas.

4.1.17 Etapa 17: Priorização dos trechos identificados na otimização para implantação de áreas de descanso

Até o momento, no método proposto, o objetivo foi garantir a aderência de todos os pares OD da matriz unitária filtrados aos parâmetros legais, independentemente, por exemplo, de a rodovia possuir mais ou menos volume de tráfego. Nessa etapa, então, o objetivo é definir a prioridade dos trechos identificados para a implantação das áreas de descanso.

Destaca-se a relevância dessa última etapa porque, nela, potencializa-se a tomada de decisão, principalmente por parte dos governantes. Além disso, é possível auxiliar empresários que querem investir na implantação de áreas de descanso com o fornecimento de serviços.

Logo, após a identificação dos trechos rodoviários que necessitam de áreas de descanso, é o momento de realizar a priorização de quais áreas devem ser implantadas primeiro. Assim, deve-se definir os critérios para a priorização e a ordem de análise e execução deles. Na apresentação da etapa, serão mostrados os possíveis critérios de priorização e recomendada a ordem de utilização.

Diferentemente da etapa do *ranking*, cujo objetivo foi garantir que não existisse nenhuma viagem que não estivesse coberta por áreas de descanso, nessa etapa, o que se pretende é definir uma ordem de implantação, isso porque pode não existir recursos para executar todas as iniciativas de uma única vez.

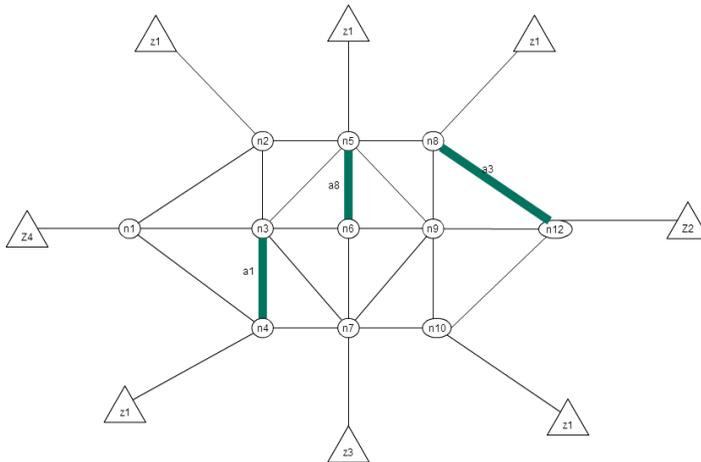
Tendo isso em vista, recomenda-se que sejam priorizados os trechos rodoviários mais utilizados, a fim de que seja atendido o maior número possível de cidadãos. Basicamente, como já apresentado na etapa de construção do *ranking*, alguns critérios possíveis são:

- volume de tráfego de caminhões;
- população ponderada pelo PIB;
- dados de exportação e importação;
- número de acidentes envolvendo caminhões
- frota de caminhões;
- uso do solo; e

- densidade demográfica.⁷

Com o objetivo de ilustrar, será exibida uma nova rede. Nesse exemplo, parte-se do princípio de que já foi rodado todo o processo do método proposto até a etapa de otimização e que, conseqüentemente, já foram identificados os trechos que necessitam de implantação de áreas de descanso. Nesse caso, os trechos identificados foram a1, a3 e a8, como pode ser visto na Figura 86.

Figura 86 - Identificação dos trechos que necessitam de áreas de descanso



Fonte: o autor (2015).

A partir desse ponto, falta realizar a etapa de priorização dos trechos para a implantação. O primeiro passo é obter os dados de volume de tráfego de algumas fontes, como contagem volumétrica, estudos ou, ainda, por meio das etapas de planejamento de transportes classificadas, geração de viagens, distribuição de viagens e alocação. Para exemplificação, parte-se do princípio de que tais dados já foram obtidos e tabulados, conforme consta na Figura 87.

⁷ Dependendo da área de estudo, pode ser necessário considerar outras variáveis socioeconômicas, como o número de indústrias em uma área de estudo que contemple os municípios do grande ABC em São Paulo.

Figura 87 - Volume de tráfego dos arcos identificados

		Volume de tráfego
Arcos	a1	2000
	a3	560
	a8	850

Fonte: o autor (2015).

A partir disso, a atividade a ser feita é tabular os volumes nos arcos correspondentes e organizá-los em ordem decrescente, conforme mostrado na Figura 88.

Figura 88 - Arcos priorizados pelo volume de tráfego

		Volume de tráfego
Arcos	a1	2000
	a3	560
	a8	850



ordenação

		Volume de tráfego
Arcos	a1	2000
	a8	850
	a3	560

Fonte: o autor (2015).

Portanto, utilizando o critério de volume de tráfego, o trecho rodoviário que deve ser implementado em primeiro lugar é o trecho a1, por possuir o maior volume de tráfego de caminhões.

5 APLICAÇÃO DE UM EXEMPLO NUMÉRICO

Nesta seção, será descrito um exemplo numérico do método proposto para a identificação dos trechos que demandam áreas de descanso para que as zonas de tráfego fiquem aderentes aos parâmetros legais considerados neste trabalho.

Os dados de entrada foram definidos de forma sintética, a fim de criar condições que permitam a comprovação das principais premissas contempladas no método proposto.

Esse exemplo visa, portanto, apresentar, de forma didática, detalhes referentes às etapas de tal método, garantindo que seja plausível analisar as operações que acontecem em seu processo de execução. Recursos, como tabelas, figuras e esquemas, dão suporte na representação do problema e da solução.

5.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

O cenário hipotético construído para este exemplo consiste em realizar a análise de uma malha rodoviária que não possui áreas de descanso, com o intuito de determinar em quais trechos deveriam ser construídas determinadas áreas. A solução também deve garantir a aderência aos parâmetros legais, ou seja, que todas as viagens consideradas no método estejam atendidas por áreas de descanso, tendo em vista, principalmente, o tempo máximo de direção contínua (TMC), que, no Brasil, é de 5,5 horas.

A formalização do problema a ser resolvido nesta seção de aplicação do método pode ser realizada da seguinte forma: para toda malha rodoviária que já tenha sido transportada para um grafo valorado, deseja-se obter a lista de arestas cuja inclusão de uma área de descanso satisfaz às restrições impostas pelos parâmetros legais da Lei n. 13.103/2015.

Quanto às restrições, destaca-se a que determina que a viagem mais longa não deve ultrapassar uma jornada de trabalho normal e que os parâmetros legais sejam respeitados, principalmente o TMC. Outra restrição é a de que, no exemplo, se tem somente zonas internas.

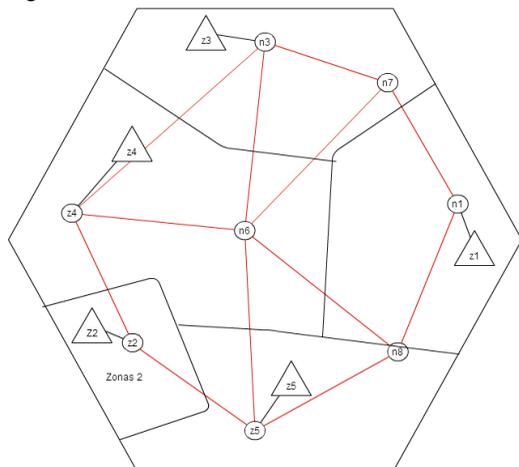
Na penúltima etapa do método, serão identificados quais os trechos necessários para a implantação das áreas de descanso; e, na última etapa, será possível verificar uma sugestão de priorização para a implantação das áreas de descanso.

A fim de facilitar a demonstração do método no exemplo, este será particionado etapa a etapa, conforme o modelo desenvolvido.

5.1.1 Etapa 1: Definição da área de estudo

Neste exemplo numérico, parte-se da premissa de que a área de estudo já foi definida, como mostrado na Figura 89.

Figura 89 - Área de estudo



Fonte: o autor (2016).

Em cenários reais, nos quais analistas precisam de informações mais qualificadas a respeito do entorno que está sendo avaliado, o processo de definição de áreas de estudo demanda análise criteriosa do espaço geográfico.

5.1.2 Etapa 2: Determinação de cenários

Neste exemplo numérico, será considerado apenas um cenário, a saber:

- não existem áreas de descanso implantadas;
- não existem obras de investimentos em infraestrutura; e
- demanda atual, volume de tráfego.

5.1.3 Etapa 3: Coleta de dados e informações

A coleta de dados e informações da área de estudo não se aplica nesse exemplo numérico, uma vez que os dados apresentados são fictícios, gerados para fins didáticos e de aplicação do método.

5.1.4 Etapa 4: Definição e levantamento dos Parâmetros Legais

Para a validação do método, são usados os parâmetros legais concebidos na Legislação. Os parâmetros utilizados na aplicação do método relativos ao Grupo 1, Tempo para Descanso (TD), são:

- TMC = 5,5 horas;
- TD = 30 min = 0,5 horas; e
- TCC = 6 horas.

5.1.5 Etapa 5: Padronização de Dados e Informações

Nesse exemplo numérico, os dados de entrada foram diretamente construídos utilizando-se um *software* específico para a construção de grafos; assim, os dados já são inseridos de forma padronizada. Tal padronização facilita a extração de dados necessários nas etapas consecutivas do método.

Quanto à padronização dos resultados, foram estabelecidas algumas tabelas que permitem representar arestas e nós, bem como os resultados da alocação das áreas de descanso. Cita-se, como exemplo, uma tabela com a lista de arestas e respectivas impedâncias (Tabela 6).

Tabela 6 - Lista de impedâncias por arco

Arcos	Tempo
a1	1,25
a2	0,25
a3	5
a4	1,5
a5	1,5
a6	5
a7	8
a8	6,5
a9	5
a10	5
a11	2,5
a12	1,5
a13	1,5

Fonte: o autor (2016).

Uma das definições utilizadas na padronização foi a estratégia de nomenclatura dos componentes do grafo. Por exemplo, os nós da rede que estão ligados às zonas devem ter inicial Z, seguida de número que indica a ordem; e os nós de ligação devem ter inicial N, seguida de número que indica a ordem.

5.1.6 Etapa 6: Definição das zonas de tráfego e centroides

No processo de definição de zonas de tráfego, podem ser utilizadas informações de divisões políticas ou socioeconômicas para a identificação das fronteiras entre as zonas. Todavia, para a apresentação do método, a título de exemplo, as zonas e os centroides foram definidos de forma arbitrária. Assim, tem-se z1, z2, z3, z4 e z5, apresentadas na Etapa 1.

5.1.7 Etapa 7: Elaboração e modelagem da rede rodoviária

O processo de criação e modelagem da rede também está relacionado à utilização do grafo. O processo de criação da rede rodoviária, nesse exemplo, foi cuidadosamente preparado para contemplar os diferentes aspectos existentes e que possibilitassem a demonstração do método, como a existência de viagens curtas e longas.

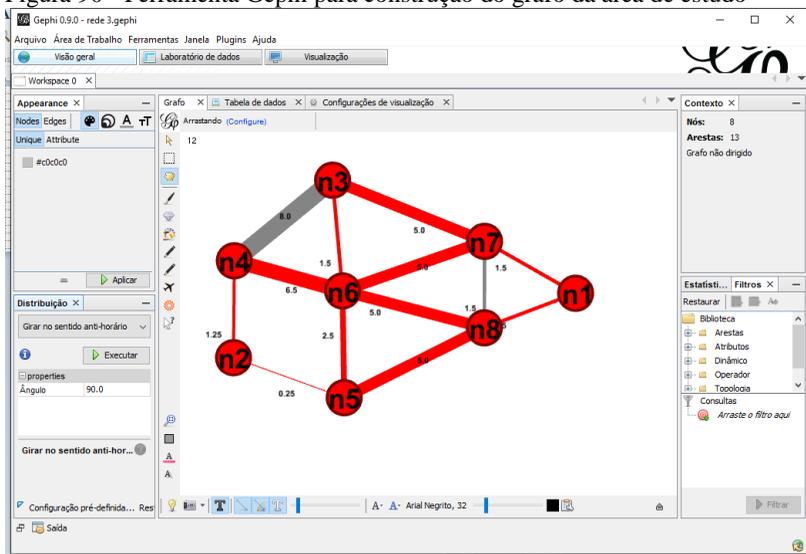
5.1.8 Etapa 8: Conexão da rede em grafo

Na conexão da malha, é necessário realizar a análise dos centroides e de sua posição quanto às arestas. Na análise espacial, a qual monta o grafo que representa a malha, é necessário que os centroides estejam próximos aos extremos dos *links* existentes para que sejam indexados como ponto de origem ou destino no processo de determinação de caminhos.

Neste trabalho, o grafo foi construído utilizando-se a ferramenta Gephi⁸, conforme pode ser observado na Figura 90.

⁸ Gephi é uma ferramenta *open source* para a visualização e a análise de qualquer tipo de grafos e redes. Disponível em: <<https://gephi.org/>>. Acesso em: 11 fev. 2016.

Figura 90 - Ferramenta Gephi para construção do grafo da área de estudo



Fonte: o autor (2016).

Quando se trata de um estudo real, o processo de criação da malha, normalmente, é lento; deve-se ter informações detalhadas trecho a trecho, contemplando dados que permitam definir o tempo que um caminhão leva para percorrer o trecho.

Uma vez que os nós e as arestas foram adicionados à ferramenta Gephi, o grafo já está disponível para as simulações das próximas etapas.

Outro aspecto importante na conexão de rede é que os centroides devem estar vinculados a, pelo menos, uma aresta. Sabe-se que as informações podem ser obtidas de diferentes fontes, assim, estratégias de vinculação de centroides a arestas precisam ser estabelecidas, já que, quando são utilizadas informações georreferenciadas, nem sempre um centroide encontra-se na mesma coordenada de um extremo de aresta.

Ainda em relação à conexão da malha, é necessário fazer a análise dos centroides e de sua posição quanto aos arcos. Na análise espacial que monta o grafo que representa a malha, os centroides devem estar próximos aos extremos dos *links* existentes para que sejam indexados como ponto de origem ou destino no processo de determinação de caminhos.

5.1.9 Etapa 9: Realizar a geração da matriz unitária

Para a produção da matriz unitária, foi construída uma matriz OD de todas as zonas para todas as zonas, exceto quando a origem é igual ao destino. Isso gerou uma matriz OD, a qual é exibida na Figura 91. Essa matriz foi incluída em uma planilha de dados do *software* Microsoft Excel, servindo de referência para o processo de cálculo apresentado neste estudo.

Figura 91 - Matriz OD Unitária

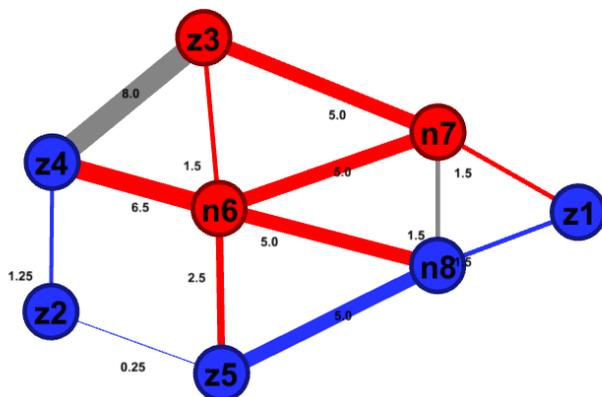
	z1	z2	z3	z4	z5
z1	*	1	1	1	1
z2	1	*	1	1	1
z3	1	1	*	1	1
z4	1	1	1	*	1
z5	1	1	1	1	*

Fonte: o autor (2016).

5.1.10 Etapa 10: Gerar a árvore de caminhos mínimos

Com a utilização da Gephi, foi possível calcular os caminhos entre todos os pares OD da matriz unitária. Na Figura 92, pode-se verificar como essa ferramenta permite exportar as informações necessárias para a produção de uma lista com todas as arestas utilizadas para descrever o caminho de custo mínimo entre as zonas de tráfego z1 e z4. Ainda na Figura 92, encontra-se, destacado em azul, o caminho de custo mínimo que conecta as zonas de tráfego z1 e z4. Nesse exemplo, foi considerado o caminho de menor impedância, utilizando o Algoritmo de Dijkstra, descrito na fundamentação teórica do trabalho.

Figura 92 - Caminho mínimo calculado com uso da ferramenta Gephi



Fonte: o autor (2016).

Em um caso prático de aplicação do modelo, propõe-se que sejam aplicados conceitos de SIG para a construção do grafo. Diferentes algoritmos de minimização podem ser utilizados e sugere-se, ainda, que se faça uso de sistemas gerenciadores de bancos de dados para armazenar os resultados e facilitar a recuperação por meio de consultas.

5.1.11 Etapa 11: Elaboração da matriz de tempo de viagem – MTV

O processo descrito na Etapa 10 foi repetido para cada um dos pares OD definidos na Etapa 9. A consolidação das várias rodadas de cálculos de caminhos de custo mínimo, conforme demonstrado na Etapa 10, permitiu a elaboração da matriz de tempo de viagem, apresentada na Figura 93.

Figura 93 - Matriz de tempo de viagem

	z1	z2	z3	z4	z5
z1	*	6,75	6,5	8	6,5
z2	6,75	*	4,25	1,25	0,25
z3	6,5	4,25	*	8	4
z4	8	1,25	8	*	1,5
z5	6,5	0,25	4	1,5	*

Fonte: o autor (2016).

5.1.12 Etapa 12: Definição e filtragem das viagens longas

A partir da matriz de tempo de viagem concebida na etapa anterior, foram identificados os pares OD não afetados pelas restrições impostas pelos parâmetros legais, os quais foram determinados na Etapa 4. Nesse caso, o valor utilizado para definir que uma viagem é curta deve ser menor do que 5,5 horas.

A utilização do *software* Excel possibilitou a geração de uma planilha que permite, por meio do uso de expressões matemáticas, que se realize a classificação de viagens curtas e longas. A planilha permite a inserção dos parâmetros legais, e, a partir dos resultados da matriz de tempo de viagem, é possível definir e filtrar as viagens longas. Uma imagem da planilha criada é apresentada na Tabela 7.

Tabela 7 - Classificação da viagem

	Pares OD	Total	Classificação
1	z1-z2	6,75	VLonga
2	z1-z3	6,5	VLonga
3	z1-z4	8	VLonga
4	z1-z5	6,5	VLonga
5	z2-z1	6,75	VLonga
6	z2-z3	4,25	VCurta
7	z2-z4	1,25	VCurta
8	z2-z5	0,25	VCurta
9	z3-z1	6,5	VLonga
10	z3-z2	4,25	VCurta
11	z3-z4	8	VLonga
12	z3-z5	4	VCurta
13	z4-z1	8	VLonga
14	z4-z2	1,25	VCurta
15	z4-z3	8	VLonga
16	z4-z5	1,5	VCurta
17	z5-z1	6,5	VLonga
18	z5-z2	0,25	VCurta
19	z5-z3	4	VCurta
20	z5-z4	1,5	VCurta

Fonte: o autor (2016).

		Arcos											
		a1	a2	a8	a7	a11	a3	a12	a6	a9	a4	a5	
Pares OD													
13	z4-z1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	8
15	z4-z3	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	8
17	z5-z1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	6,5
Fluxo													
Total		2	4	0	2	0	6	0	2	0	6	2	

Fonte: o autor (2016).

5.1.15 Etapa 15: Construção do *ranking* dos trechos alocados

Neste trabalho, determina-se que trechos prioritários são aqueles que possuem a maior quantidade de pares OD vinculados a si. A Tabela 9 mostra a lista desses trechos e a respectiva totalização de fluxo.

Tabela 9 - Fluxo alocado nos arcos

Arcos	Fluxo
a1	2
a2	4
a7	2
a3	6
a6	2
a4	6
a5	2

Fonte: o autor (2016).

Os elementos de desempate utilizados neste exemplo numérico são número de acidentes e volume de tráfego. Na Tabela 10, é possível verificar o *ranking* dos trechos alocados, que inclui dados de acidentes e volume.

Tabela 10 - *Ranking* dos trechos

Arcos	Fluxo	Acidentes	Volume
a4	6	40	600
a3	6	20	560
a2	4	15	500

Arcos	Fluxo	Acidentes	Volume
a1	2	10	150
a7	2	10	100
a6	2	5	300
a5	2	3	250

Fonte: o autor (2016).

5.1.16 Etapa 16: Otimização

Como resultado da etapa anterior, tem-se o *ranking* dos trechos alocados; e, de posse desses dados, é possível iniciar o processo de otimização. Para tanto, foi construído um algoritmo de otimização, a fim de que o processo de busca por trechos que necessitam de áreas de descanso seja eficiente.

A otimização para a identificação dos trechos é computacional complexo, pois trata-se de um problema combinatório de complexidade NP. A verificação de todas as combinações demandaria um bom tempo para chegar-se à solução ótima, podendo atingir meses de processamento. Assim, tendo como foco o objetivo de resolver essa questão e ter-se uma solução satisfatória, foi elaborado o algoritmo heurístico já apresentado.

Portanto, nesta etapa, é necessário informar, como entrada de dados, a lista definida na etapa do *ranking*. A partir desse ponto, o algoritmo busca e identifica quais são os trechos que necessitam de áreas de descanso para que se possa dizer que todos os pares OD da área de estudo estão aderentes à Legislação.

Na Tabela 11, é possível verificar o resultado da otimização e, por conseguinte, a lista das áreas de descanso em seu respectivo arco.

Tabela 11 - Trechos identificados para a implantação de áreas de descanso

Lista arcos com AD
a4
a3
a7
a6

Fonte: o autor (2016).

Na Tabela 12, é possível verificar o resultado da priorização para implantação das áreas de descanso identificadas.

Tabela 12 - Resultado para priorização

	Arcos (trecho)	Ads	Volume	Acidentes	Fluxo
1	a4	1	600	40	6
2	a3	1	560	20	6
3	a6	1	300	5	2
4	a7	1	100	10	2

Fonte: o autor (2016).

Dessa forma, conclui-se que a ordem de implantação, segundo os critérios estabelecidos, é a seguinte:

- primeira área a ser implantada: Trecho a4;
- segunda área a ser implantada: Trecho a3;
- terceira área a ser implantada: Trecho a6; e
- quarta área a ser implantada: Trecho a7.

5.2 CONSIDERAÇÕES

Diante do exemplo numérico apresentado, no qual área de estudo, zonas e malha rodoviária eram sumarizadas e hipotéticas, foi possível verificar que o método proposto cumpriu o seu objetivo principal, a saber, identificar e priorizar os trechos rodoviários nos quais devem ser implantadas as áreas de descanso.

As implantações das áreas de descanso são relevantes para que as zonas que pertencem à área de estudo possam estar aderentes aos parâmetros legais. Vale ressaltar que o presente método possui um algoritmo de busca heurística, tornando viável computacionalmente a solução do problema, chegando a uma solução satisfatória, muito próximo da solução ótima.

6 CONCLUSÕES

O deslocamento das mercadorias do produtor até o consumidor ocorre, na maioria das ocasiões, pelas rodovias. Assim, o volume de acidentes que envolve caminhões é alto e demanda iniciativas para amenizar o problema, como a criação de novas leis. Existem legislações específicas em todo o mundo para a jornada de trabalho de caminhoneiros. No Brasil, ela está, atualmente, regulamentada pela Lei n. 13.103/2015. É notório que os caminhoneiros não respeitam a legislação, principalmente devido à pressão que sofrem pelas empresas transportadoras, submetendo-se a percorrer o caminho o mais rápido possível, o que potencializa a ocorrência de acidentes. Ademais, apesar de estar regulamentada, a fiscalização no Brasil não teve início devido à falta de pontos de parada e de descanso.

Em virtude dos fatos mencionados, este trabalho partiu da necessidade de elaboração de um método que fosse capaz de identificar a melhor localização dos trechos rodoviários para a implantação de áreas de descanso, garantindo, dessa forma, a disponibilidade de tais áreas para todas as viagens. Outro ponto fundamental considerado durante esta pesquisa foi a priorização de implantação dentro do conjunto de trechos identificados.

Isso posto, abordou-se o tema áreas de descanso; a legislação que rege o assunto; exemplos de áreas de descanso internacionais e nacionais; e os métodos existentes que apoiam a identificação dos trechos rodoviários para a implantação das áreas. Assim, foram propostas 17 etapas para a realização de estudos, com o objetivo de realizar a alocação das áreas de descanso em redes rodoviárias.

Os procedimentos elaborados neste trabalho para a definição das áreas de estudo são primordiais, pois, a partir deles, é possível definir quais as zonas de tráfego, os centroides e os trechos a serem considerados na rede rodoviária, e também o tamanho a área de estudo a ser considerada.

No método proposto, foram definidos os passos necessários para considerar a existência de áreas de descanso, ou seja, considerar as áreas já implantadas, isso para que o método fosse efetivo na prática, tanto em um cenário atual como em cenários futuros, sendo no Brasil ou no exterior. Assim, foi possível notar que a existência de áreas de descanso afeta o resultado final, mas, a partir dos procedimentos elaborados nesta pesquisa, a sua consideração não teve grandes impactos.

Em relação à coleta de dados para a realização do estudo que define os trechos rodoviários que devem receber áreas de descanso, foi

possível observar que o método proposto (AAD), diferentemente dos métodos existentes, não demanda pesquisa em campo. Um estudo desse nível de abrangência, no caso do Brasil, exigiria um grande investimento financeiro devido ao tamanho continental do país, além do tempo necessário para atingir resultados satisfatórios.

Com a aplicação do método AAD, pode-se assegurar a efetividade da localização das áreas de descanso a serem implantadas. Ou seja, por meio do método, é possível garantir que todas as viagens estarão aderentes à legislação que rege o assunto.

Ao observar todas as viagens entre as zonas de tráfego, foi possível notar que existem algumas que possuem um tempo de viagem abaixo dos parâmetros legais e outras que possuem um tempo de viagem total acima dos parâmetros legais, ou seja, precisam utilizar obrigatoriamente as áreas de descanso. Assim, por meio do método AAD, classificou-se viagens curtas e viagens longas, sendo as curtas as viagens abaixo dos parâmetros legais e as longas aquelas acima dos parâmetros legais. Com isso, é possível filtrar, no estudo, somente as viagens que têm a possibilidade de não respeitar a legislação que rege o assunto, tornando o processo de estudo mais ágil.

Um ponto fundamental nos estudos sobre alocação de áreas de descanso é definir por quais trechos se deve iniciar o processo de otimização, ou seja, qual a solução inicial. Diante disso, o método AAD define procedimentos que orientam como deve ser construído o *ranking* dos trechos alocados a partir da matriz unitária. A grande vantagem do procedimento determinado é que ele flexibiliza e, ao mesmo tempo, padroniza as variáveis importantes a serem consideradas no *ranking*.

Quando se trata da implantação de áreas de descanso, um dos objetivos é realizar a alocação das áreas de forma eficiente e otimizada, para que se tenha o custo de implantação minimizado. O método AAD demonstra como é possível realizar essa minimização por meio de sua heurística. Para tanto, foi construído um algoritmo de otimização.

Encontrar o conjunto de trechos rodoviários que precisam de áreas de descanso para que a legislação sobre áreas de descanso possa ser cumprida é um resultado que já traz grandes ganhos para o planejamento. Todavia, é notório que governo e/ou iniciativa privada não possuem verba para custear o conjunto de trechos de uma única vez. Por isso, foi necessário definir procedimentos que apoiassem a priorização de implantação dos trechos identificados. O método AAD orientou o processo e quais as variáveis que devem ser consideradas nessa priorização. Assim, após a realização da última etapa do método, é

possível obter, no estudo, os trechos a serem implantados primeiramente.

Para que fosse possível comprovar a eficiência do método AAD, foi feita a aplicação de um exemplo numérico. Foi possível notar que o método traz resultados satisfatórios, possibilitando a realização de estudos relativos à alocação de áreas de descanso em redes rodoviárias.

Portanto, o método AAD é fundamental para estudos relativos à implantação das áreas de descanso, pois contribui para que o governo possa iniciar a fiscalização da jornada de trabalho dos motoristas profissionais e, conseqüentemente, colaborar para a diminuição dos acidentes envolvendo caminhões.

6.1 LIMITAÇÕES DA PESQUISA

Para a realização do trabalho, basicamente, teve-se as seguintes limitações:

- obtenção de dados reais de acidentes em rodovias estaduais e municipais;
- obtenção de dados reais de volume de tráfego em rodovias federais, estaduais e municipais; e
- falta de acesso a um supercomputador para que fosse possível executar um experimento grande, com mais de 30 zonas e 200 arcos, que conseguisse trazer a solução ótima do problema para posterior comparação com os resultados do método.

6.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Após a conclusão deste trabalho, é possível elencar uma série de sugestões para trabalhos futuros, a saber:

- realizar a aplicação do método em um caso real no Brasil;
- realizar a aplicação do método em um caso real no exterior;
- considerar as n viagens entre as zonas de tráfego a partir da demanda de tráfego;
- realizar a aplicação para os demais cenários;
- aprimorar o método para responder quantas áreas são necessárias considerando o número de vagas disponíveis;

- adaptar o método para encontrar o ponto geográfico exato para a implantação das áreas de descanso;
- usar o método multicritério para realizar a etapa de priorização dos trechos identificados para a implantação das áreas de descanso; e
- considerar tecnologias de *Intelligent Transportation Systems* (ITS) no dimensionamento das áreas de descanso.

REFERÊNCIAS

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS (AASHTO). **An introduction to the Highway Safety Manual**. 1ª Washington, D.C.: American Association of State Highway and Transportation Officials, 2010.

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES AQUAVIÁRIOS (ANTAQ). **Plano Nacional de Integração Hidroviária** (PNIH). 2013. Disponível em: <<http://www.antaq.gov.br/portal/PNIH.asp>>. Acesso em: 23 dez. 2015.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES PÚBLICOS (ANTP); CONSELHO ESTADUAL PARA A DIMINUIÇÃO DOS ACIDENTES DE TRÂNSITO E TRANSPORTES (CEDATT); INSTITUTO DE ENGENHARIA (IE). **Década de Ação pela Segurança no Trânsito 2011-2020**: Resolução ONU n. 2, de 2009. Proposta para o Brasil para redução de acidentes e segurança viária. São Paulo, 2011. Disponível em: <<http://www.denatran.gov.br/download/decada/Proposta%20ANTP-CEDATT-Instituto%20de%20Engenharia%20SP.pdf>>. Acesso em: 20 maio 2014.

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES (ANTT). **Anuário Estatístico dos Transportes Terrestres - AETT/2009**: Transporte Rodoviário Coletivo Interestadual e Internacional de Passageiros. Brasília: ANTT, 2009. Disponível em: <http://appweb2.antt.gov.br/InformacoesTecnicas/aett/aett_2009/principal.asp>. Acesso em: 3 dez. 2015.

_____. **Registro Nacional de Transporte Rodoviário de Cargas - RNTRC**: Transportes - Tipo Veículo. Disponível em: <http://appweb2.antt.gov.br/rntrc_numeros/rntrc_TransportadorFrotaTipoVeiculo.asp>. Acesso em: 3 fev. 2015.

_____. **Transportadores – Frota de veículos**. Disponível em: <http://www.antt.gov.br/index.php/content/view/20270/Transportadores___Frota_de_Veiculos.html>. Acesso em: 11 jan. 2016.

BACCHIERI, G.; BARROS, A. J. D. Acidentes de trânsito no Brasil de 1998 a 2010: muitas mudanças e poucos resultados. **Rev. Saúde Pública**, São Paulo, v. 45, n. 5, out. 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-89102011000500017&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 31 jan. 2015.

BANCO DE INFORMAÇÕES E MAPAS DE TRANSPORTES (BIT). Transporte Rodoviário do Brasil. 2015. Disponível em:

<<http://www2.transportes.gov.br/bit/02-rodo/rodo.html>>. Acesso em: 3 fev. 2015.

BANCO INTERAMERICANO DE DESENVOLVIMENTO (BID); CENTRO INTERNACIONAL DE FORMAÇÃO DE ATORES LOCAIS (CIFAL).

Pesquisas e Estudos de Caso em Segurança Viária. 2014. Disponível em: <http://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/6476/Investigacao_Caso_Estudo_Seguridad_Viaria%20%28Monografia%29.pdf?sequence=2>. Acesso em: 14 jun. 2014.

BANERJEE, I.; LEE, J. ho; JANG, K; PANDE, S.; RAGLAND, D. **Rest Areas** - Reducing Accidents Involving Driver Fatigue. UC Berkeley Traffic Safety Center, California Department of Transportation, May 2009. Disponível em: <http://www.dot.ca.gov/newtech/researchreports/reports/2009/2009-05_design_and_construction.pdf>. Acesso em: 3 nov. 2015.

BRASIL. Lei n. 12.619, de 30 de abril de 2012. Dispõe sobre o exercício da profissão de motorista; altera a Consolidação das Leis do Trabalho - CLT, aprovada pelo Decreto-Lei no 5.452, de 1o de maio de 1943, e as Leis nos 9.503, de 23 de setembro de 1997, 10.233, de 5 de junho de 2001, 11.079, de 30 de dezembro de 2004, e 12.023, de 27 de agosto de 2009, para regular e disciplinar a jornada de trabalho e o tempo de direção do motorista profissional; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2 maio 2012. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112619.htm>. Acesso em: 22 ago. 2014.

_____. Lei n. 13.103, de 2 de março de 2015. Dispõe sobre o exercício da profissão de motorista; altera a Consolidação das Leis do Trabalho - CLT, aprovada pelo Decreto-Lei no 5.452, de 1o de maio de 1943, e as Leis nos 9.503, de 23 de setembro de 1997 - Código de Trânsito Brasileiro, e 11.442, de 5 de janeiro de 2007 (empresas e transportadores autônomos de carga), para disciplinar a jornada de trabalho e o tempo de direção do motorista profissional; altera a Lei no 7.408, de 25 de novembro de 1985; revoga dispositivos da Lei no 12.619, de 30 de abril de 2012; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**. Brasília, DR, 2 mar. 2015. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2015-2018/2015/Lei/L13103.htm>. Acesso em: 25 fev. 2015.

BRASIL. Ministério das Cidades. Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN). **Frota de veículos.** Disponível em: Frota Nacional (Dezembro de 2014) <http://www.denatran.gov.br/frota.htm>. Acesso em: 17 nov. 2014.

_____. Ministério de Estado do Trabalho e Emprego. Portaria n. 994, de 8 de julho de 2015. Estabelece as condições de segurança, sanitárias e de conforto

nos locais de espera, de repouso e de descanso dos motoristas profissionais de transporte rodoviário de passageiros e de cargas. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 9 jul. 2015. Disponível em: <http://www.transportes.gov.br/images/PONTOS_DE_PARADA_DESCANSO/LEGISLACAO/Portaria_MTE_n%C2%BA_944_2015_Condi%C3%A7%C3%B5es_sanit%C3%A1rias.pdf>. Acesso em: 6 nov. 2015.

_____. Ministério dos Transportes. Ministério da Defesa. **Plano Nacional de Logística e Transportes**: Relatório Executivo. Brasília, DF, 2007. Disponível em: <http://www.transportes.gov.br/images/Relatorio_Executivo_2007.pdf>. Acesso em: 6 nov. 2015.

_____. Ministério dos Transportes. **Pontos de parada de descanso**: resultado pontos de parada e descanso nas rodovias federais. 2015. Disponível em: <http://www.transportes.gov.br/images/FORUM_TRC/APRESENTACOES/PP_T_PPDForumTRC.pdf>. Acesso em: 25 fev. 2015.

BRISKAIR. 2015. Disponível em: <www.briskair.com.au>. Acesso em: 6 nov. 2015.

CENTRO DE EXCELÊNCIA EM ENGENHARIA DE TRANSPORTES (CENTRAN). **Plano Nacional de Logística e Transportes (PNLT)**. 2007. Disponível em: <http://jornalggn.com.br/sites/default/files/documentos/Volume_1_-_Tomo_3_-_Parte_3.pdf>. Acesso em: 23 dez. 2015.

CAMPOS, V. B. G. **Planejamento de transportes**: conceitos e modelos de análise (apostila). 2007. Disponível em: <<http://www.marcusquintella.com.br/sig/lib/uploaded/Planejamento%20de%20Transportes%20-%20V%C3%A2nia%20Campos.pdf>>. Acesso em: 25 fev. 2016.

CANADIAN COUNCIL OF MOTOR TRANSPORT ADMINISTRATORS (CCMTA). **Commercial Vehicle Drivers Hours of Service Regulations - Application Guide**. 2007. Disponível em: <https://www.tc.gc.ca/media/documents/roadsafety/HoS_Application_Guide.pdf>. Acesso em: 9 jun. 2014.

CARMO, E. C. de; GOMES, H. A. S.; BARROS NETO, J. F. Roteamento de veículos no transporte rodoviário de cargas: uma aplicação para a distribuição de jornais. In: XXXV SBPO, Natal/RN. **Anais...** Disponível em: <<http://www.din.uem.br/sbpo/sbpo2003/pdf/arq0120.pdf>>. Acesso em: 11 fev. 2016.

CHEN, C.; XIE, Y. The impacts of multiple rest-break periods on commercial truck driver's crash risk. **Journal of Safety Research** **48**, pp. 87–93, 2014.

COMISSÃO REGIONAL DAS NAÇÕES UNIDAS. **Melhoria na segurança rodoviária global**: Definição de metas regionais e nacionais na redução de vítimas de acidentes rodoviários - Relatório e recomendações. Nova Iorque, 2010.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE (CNT); SERVIÇO SOCIAL DO TRANSPORTE (SEST); SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM DO TRANSPORTE (SENAT). **Pesquisa CNT de rodovias 2014**: Relatório Gerencial. Brasília: CNT, SEST, SENAT, 2014. 388 p. Disponível em: <<http://pesquisarodovias.cnt.org.br/Paginas/index.aspx>>. Acesso em: 3 fev. 2015.

CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO (CONTRAN). Resolução n. 525, de 29 de abril de 2015. Dispõe sobre a fiscalização do tempo de direção do motorista profissional de que trata os artigos 67-A, 67-C e 67-E, incluídos no Código de Trânsito Brasileiro - CTB, pela Lei n° 13.103, de 02 de março de 2015, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 30 abr. 2015. Disponível em: <<http://www.normaslegais.com.br/legislacao/Resolucao-contran-525-2015.htm>>. Acesso em: 6 nov. 2015.

CORRÊA, JP. **20 anos de lições de trânsito**: desafios e conquistas do trânsito brasileiro de 1987 a 2007. Curitiba: Infolio Editorial; 2009.

DATASUS. **Óbitos por causas externas**: Brasil. Disponível em: <<http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/deftohtm.exe?sim/cnv/ext10uf.def>>. Acesso em: 17 nov. 2012.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (DNER). **Guia de redução de acidentes com base em medidas de engenharia de baixo custo**. Rio de Janeiro: DCTec, 1998. 140 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **Nomenclatura das rodovias federais**. 2015. Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br/rodovias/rodovias-federais/nomenclatura-das-rodovias-federais>>. Acesso em: 25 fev. 2016.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT); UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA (UFSC); LABORATÓRIO DE TRANSPORTES E LOGÍSTICA (LABTRANS); NÚCLEO DE ESTUDOS SOBRE ACIDENTES DE TRÁFEGO EM RODOVIAS (NEA). **Produto 11 - Concepção do Sistema de Informação de Segurança Viária**. Fase 4 - Sistema de Informação de

Segurança viária. Brasília, 2009. Disponível em:
<<http://www.dnit.gov.br/download/rodovias/operacoes-rodoviarrias/convenios-com-a-ufsc/do1282nea-fase-4-produto-11.pdf>>. Acesso em: 15 out. 2014.

DESLANDES S. F.; SILVA, C. M. F. P.; UGÁ, M. A. D. O custo do atendimento emergencial às vítimas de violências em dois hospitais do Rio de Janeiro. **Cad. Saúde Pública**, Rio de Janeiro, p. 287-99, 1998.

DORRIAN, J.; SWEENEY, M., DAWSON, D. Modeling fatigue-related truck accidents: Prior sleep duration, recency and continuity. **Sleep and Biological Rhythms** 9, pp. 3–11, 2011.

ESTRADAS. O portal de rodovias do Brasil. **Governo não tem condições de fazer cumprir o descanso da Lei dos Caminhoneiros**. Disponível em:
<<http://estradas.com.br/governo-nao-tem-condicoes-de-fazer-cumprir-o-descanso-previsto-na-lei-dos-caminhoneiros/>>. Acesso em: 25 fev. 2016.

FEOFILOFF, P.; KOHAYAKAWA, Y; WAKABAYASHI, Y. **Uma introdução à teoria dos grafos**. 2011. Disponível em:
<<http://www.ime.usp.br/~pf/teoriadosgrafos/texto/TeoriaDosGrafos.pdf>>. Acesso em: 26 fev. 2016.

FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION (FHWA). **Study of Adequacy of Commercial Truck Parking Facilities**: Technical Report, Publication FHWA RD-01-158. Washington, DC: U.S. Department of Transportation, 2002.

FREITAS, L. M. **Modelagem da demanda por transportes por meio de um modelo de escolha discreta**: uma aplicação ao município de Armação dos Búzios. TCC (Graduação em Engenharia Civil). Escola Politécnica. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2015. Disponível em:
<<http://Monografias.Poli.Ufrj.Br/Monografias/Monopoli10014662.Pdf>>. Acesso em: 6 nov. 2015.

GAMS. Disponível em: <<https://www.gams.com/>>. Acesso em: 6 nov. 2015.

GEPHI. Disponível em: <<https://gephi.org/>>. Acesso em: 6 nov. 2015.

GERHART, T. E.; SILVEIRA, D. T. (Org.). **Métodos de Pesquisa**. Porto Alegre: UFRGS, 2009. 120 p.

GOEL, A. **The minimum duration truck driver scheduling problem**. *EURO J transp Logist* (2012) 1:285-306. 2012.

GOOGLE MAPS. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps/>>. Acesso em: 18 fev. 2016.

HEUSER, C. A. **Projeto de banco de dados**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Resolução da Presidência do IBGE n. 11, de 5 de junho de 1990. **Boletim de Serviço do IBGE**, n. 1.774, semanas 026 a 030, ano XXXVIII (circulação interna).

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA); POLÍCIA RODOVIÁRIA FEDERAL (PRF). **Acidentes de trânsito nas rodovias federais brasileiras**. Caracterização, tendências e custos para a sociedade. Relatório de pesquisa. Brasília, 2015. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/150922_r elatorio_acidentes_transito.pdf>. Acesso em: 2 out. 2015.

LABEL. **What, why, who**. Disponível em: <<http://truckparkinglabel.eu/index.cfm?action=home:main.label>>. Acesso em: 11 fev. 2016.

LABORATÓRIO DE TRANSPORTES E LOGÍSTICA (LabTrans/UFSC). **Modalidade Rodoviária**. Disponível em: <[http://www.labtrans.ufsc.br/pt-br/projetos/#Modalidade Rodovi%C3%A1ria](http://www.labtrans.ufsc.br/pt-br/projetos/#Modalidade%20Rodovi%C3%A1ria)>. Acesso em: 2 fev. 2016.

LONGLEY, P. A.; GOODCHILD, M. F.; MAGUIRE, D. J.; RHIND, D. W. **Sistemas e Ciência da Informação Geográfica**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

LÜTTMERING, A. Calculation model for estimating the demand of truck parking areas along motorways. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON TRANSPORT SCIENCE, 12, Portorož, Slovenija. **Proceedings...** Portorož, 2009.

MCCARTT, A. T. et al. Factors associated with falling asleep at the wheel among long-distance truck drivers. **Accident Analysis and Prevention**, 32, pp. 493–504, 2000.

MOTAMED, M. **Applications of ArcGIS in Transportation Planning: Analysis of Downtown Austin Network as case study**. Disponível em: <<http://www.ce.utexas.edu/prof/maidment/giswr2012/TermPaper/Motamed.pdf>>. Acesso em: 11 fev. 2016.

NASCIMENTO, E. C. do; NASCIMENTO, E.; SILVA, J. de P. Uso de álcool e anfetaminas entre caminhoneiros de estrada. **Rev. Saúde Pública**, vol. 41, n. 2, pp. 290-293, 2007.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS). **Despite progress, road traffic deaths remain too high**. Disponível em: <<http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2015/road-safety-report/en/>>. Acesso em: 23 fev. 2016.

_____. **Informe sobre la situación mundial de la seguridad vial**: es hora de pasar a la acción. Ginebra, 2009.

ORTÚZAR, J. de D.; WILLIMUMSEN, L. G. **Modelling Transport**. 4. ed. Chichester, UK: John Willey & Sons, 2011.

PEIXOTO, A. G. **Método para a construção de uma matriz de origem e destino utilizando algoritmo para localização de trechos para a realização das pesquisas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2013.

PEIXOTO, M. Q. B. **Solução de problemas de localização e roteamento em redes com sistema de informações geográficas**. Relatório de bolsa de iniciação científica. Faculdade de Engenharia. Guaratinguetá: Unesp, 2002. Disponível em: <<http://www.feg.unesp.br/~elfsenne/alunos/2002-peixoto.pdf>> Acesso em: 11 fev. 2016.

PHILIP P. et al. Work and rest sleep schedules of 227 European truck drivers, **Sleep Medicine** 3 (2002), pp. 507-511.

PINHO, R. S. **Uso de estimulantes, queixas do sono e estado de humor em motoristas profissionais de caminhão**. Dissertação (Mestrado em Ciências Farmacêuticas). Departamento de Ciências Farmacêuticas da Faculdade de Farmácia, Odontologia e Enfermagem. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2005. Disponível em: <<http://www.repositorio.ufc.br/ri/handle/riufc/4274> >. Acesso em: 4 abr. 2014.

POLÍCIA RODOVIÁRIA FEDERAL (PRF). Departamento de Polícia Rodoviária Federal. **Sistema BrBrasil**. 2015. Disponível em: <<https://www.prf.gov.br/brbrasil/pub/brbrasil/logff.jsp>>. Acesso em: 4 abr. 2014.

PORTUGAL, L. S. **Simulação de tráfego**: conceitos e técnicas de modelagem. Rio de Janeiro: Interciência, 2005.

RODRIGUES, A. de S. **Método para elaboração de um plano de evacuação emergencial em uma usina nuclear utilizando microssimulação de tráfego**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2014.

SECRETARIA DE PORTOS DA PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA (SEP/PR). **PNLP 2015**: Plano Nacional de Logística Portuária. Relatório de Metodologias. 2015. Disponível em: <http://www.portosdobrasil.gov.br/assuntos-1/pnpl/arquivos/arquivos_pnlp/RelatoriodeMetodologiasPNLP.pdf>. Acesso em: 23 dez. 2015.

SILVA, D. F.; SANCHES, A. L. Aplicação Conjunta do Método de Dijkstra e Otimização Combinatória para Solução do Problema do Caixeiro Viajante. In: SEGET – SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA, 2009. **Anais...** Disponível em: <http://www.correio.aedb.br/seget/artigos09/224_224_224_Artigo_Seget.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2014.

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração da dissertação**. Laboratório de Ensino a Distância da UFSC. Florianópolis, 2005. Disponível em: <https://projetos.inf.ufsc.br/arquivos/Metodologia_de_pesquisa_e_elaboracao_d_e_teses_e_dissertacoes_4ed.pdf>. Acesso em: 6 nov. 2015.

SILVA, J. S.; LEITE, E. P. F.; GADELHA, A. G. Utilização de software livre na extração de atributos hidrológicos. In: III SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO. **Anais...** Recife/PE: 2010, p. 001-009. Disponível em: <https://www.ufpe.br/cgtg/SIMGEOIII/IIISIMGEO_CD/artigos/CartografiaeSIG/SIG/A_218.pdf>. Acesso em: 11 fev. 2016.

SILVA, K. C. R. **Aplicação do modelo de previsão de acidentes do HSM em rodovias de pista simples do estado de São Paulo**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes). Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos: Universidade de São Paulo, 2012.

SILVA, M. R. **Uma contribuição ao projeto de redes de transporte de carga parcelada**. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes). Escola Politécnica. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2010. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-10012011-130403/>>. Acesso em: 3 fev. 2015.

SINAY, M. C. F.; TAMAYO, A. S. Segurança Viária: Uma Visão Sistêmica. In: **RIO DE TRANSPORTES**, 3., 2005, Rio de Janeiro.

SOUZA, J. C., PAIVA, T., REIMÃO, R. **Sono, Qualidade de Vida e Acidentes em Caminhoneiros Brasileiros e Portugueses**. Julho - Setembro de 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-73722008000300003>. Acesso em: 7 mar 2014.

SRF Consulting Group, Inc. **Interstate Highway Safety Study: Analysis of Vehicle Crashes Related to Safety Rest Area Spacing**. Minnesota Department of Transportation, July 2007. Disponível em: <<http://www.dot.state.mn.us/restareas/pdf/raspacingstudyreport.pdf> >. Acesso em: 10 ago. 2015.

TAMAYO, A. S. **Procedimento Para Avaliação e Análise da Segurança de Tráfego em vias expressas urbanas**. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes). Coppe. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2010.

TARTUCE, T. J. A. **Métodos de pesquisa**. Fortaleza: UNICE – Ensino Superior (apostila). 2006.

THE ROAD TRIP BLOG. 2008. Disponível em: <roadtripit.wordpress.com>. Acesso em: 6 nov. 2015.

UNITED STATES DEPARTMENT OF TRANSPORTATION (USDOT); FEDERAL MOTOR CARRIER SAFETY ADMINISTRATION (FMCSA). **Hours of Service**. Disponível em: <<http://www.fmcsa.dot.gov/regulations/hours-of-service>>. Acesso em: 3 jul. 2014.

_____. **The following table summarizes the HOS regulations for property-carrying and passenger-carrying drivers**. Summary of HOS Regulations as of July 1, 2013. Disponível em: <<https://www.fmcsa.dot.gov/documents/hos/HOS-RegulationsSummary-7-1-2013.pdf>> Acesso em: 10 jul. 2014.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. Biblioteca Universitária. **Trabalho acadêmico: guia fácil para diagramação: formato A5**. Florianópolis, 2009. Disponível em: <<http://www.bu.ufsc.br/design/GuiaRapido2012.pdf>>. Acesso em: 26 abr. 2016.

VALENTE, A. M. **Uma contribuição à resolução numérica do problema de distribuição de viagens**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes). Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 1983. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/75070/96103.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 6 nov. 2015.

_____. **Sistemas de Transportes**. Notas de aula. 2014. Disponível em: <<http://ppgtg.posgrad.ufsc.br/files/2014/10/Sistemas-de-Transportes-2014-2.pdf>>. Acesso em: 25 fev. 2016.

VIAS SEGURAS. **Estatísticas do Ministério da Saúde**. 2016. Disponível em: <http://www.vias-seguras.com/os_acidentes/estatisticas/estatisticas_nacionais/estatisticas_do_ministerio_da_saude>. Acesso em: 3 mar. 2016.

VIRGINIA DEPARTMENT OF TRANSPORTATION (VDOT). 2014. Disponível em: <<http://www.virginiadot.org/travel/map-rest-area.asp> 2014>. Acesso em: 21 out. 2014.

VOLVO GROUP. **Redução de acidentes é fundamental para a sustentabilidade do transporte de cargas**. 2015. Disponível em: <http://www.volvogroup.com/group/brazil/pt-br/_layouts/CWP.Internet.VolvoCom/NewsItem.aspx?News.ItemId=150055&News.Language=pt-br>. Acesso em: 6 nov. 2015.

WAYNE STATE UNIVERSITY. Transportation Research Group. **Evaluating the Appropriate Level of Service for Michigan Rest Areas and Welcome Centers Considering Safety and Economic Factors – Final Report**. 2012. Disponível em: <http://www.michigan.gov/documents/mdot/MDOT_Research_Report_RC1570_387400_7.pdf >. Acesso em: 11 jan. 2016.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Road traffic injuries**. Disponível em: <<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs358/en/>>. 2013. Acesso em: 6 mar. 2013.

ZIVIANI, N. **Projeto de Algoritmos**: com implantação em Pascal e C. 2011.